плюс электрификация всей страны"
ЛЕНИН

1932

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 3

ФЕВРАЛЬ

ВЫПУСК I

МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ОНТИ КНИГОЦЕНТР

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год

НА ЖУРНАЛЫ

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 52-й

Двухнедельный орган электроэнергетических учреждений и организаций ВЭО, Энергоцентр ВСНХ СССР и ВЭИ

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-технич. органом, рассчитанным на квалифицированных работников электрохозяйства.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Генеральный план электрификации СССР. Электроэнергетика капиталистических стран. Социалистическая реконструкция и проблемы экономики электрохозяйства СССР. Теоретические проблемы электротехники. Единая высоковольтная сеть Союза. Электромашиностроение. Электрификация промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Электротехнические кадры. Вопросы рационализации, стандартизации и нормализации электрохозяйства.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на 12 мес.—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. **Льготная**—при коллективной подписке (не менее 10 экз.): на 12 мес.—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к., на 3 мес.—3 р. 75 к.

Каждый рабочий, техник, инженер, занятый в электрохозяйстве СССР, обязан стоять на высоте современных технических знаний

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ

„СВЕТОТЕХНИКА“

Орган Всесоюзного электротехнического об'единения и Всесоюзной ассоциации светотехнических лабораторий

ЗАДАЧИ: подвергать широкому обсуждению вопросы теорет. и прикладн. светотехники, способствовать развитию светотехнической промышленности, вести популяризацию знаний в области светотехники и рационализации светового хозяйства СССР.

ОТДЕЛЫ: Научно-технические статьи. Светотехническая промышленность и световое хозяйство. Нормы и стандарты. Хроника. Рефераты. Светотехника в массы. Библиография. Журнал рассчитан на инженеров, студентов, квалифицированных монтеров и мастеров.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: На год—8 р., на 6 мес.—4 р. Цена отдельного номера—1 р.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра, всюду на почте и письмоносцами

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

3

Февраль 1932

Орган Всесоюзного электротехнического об'единения (ВЭО), Всесоюзного об'единения энергетического хозяйства (Энергоцентр, Секции технической реконструкции и электрификации Института техники и технической политики Коммунистической академии ЦИК СССР и Всесоюзного энергетического комитета (ВЭК)

Адрес редакции:
МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский пер., д. 2, 1-й этаж. Телеф. 72-46 и 1-57-19

Содержание

Передовая—О технических установках большевистской программы в 100 kWh 129
Жуков и Романовский—Электропромышленность СССР на пороге 2-й пятилетки 133
Вейц—Капиталистическая электрификация под ударами кризиса 135
Материалы к генплану электрификации 141
Риза-Заде и *М. Мамед-Кулизаде* Мингечаурская проблема. 142
Талицкий и Михайлов—Социалистическому энергохозяйству—высокую измерительную технику . . . 143
Шрамков—О подготовке специалистов по электрическим измерениям 144
Измерительное дело в энергохозяйстве—на высшую ступень 145
Касаткин—Счетчики реактивной энергии. 145
Рокотян—Секционирование электрических станций . 150
Енько—Турбогенератор № 5 БежГРЭС с алюминиевой обмоткой 160
Иванов—Реактивность синхронных машин. 171
Роках—К проекту новых норм по защитным заземлениям 176
Щедрин—Приближенные уравнения статического состояния электрической системы станций 180
Библиография 183
Хроника 187
Из книг и журналов. 190

О технических установках большевистской программы в 100 млрд. kWh

„Коммунизм — есть советская власть плюс электрификация всей страны". Завершение фундамента социалистической экономики поставило этот ленинский лозунг электрификации на новую, более высокую ступень.

„Важнейшим элементом технической реконструкции народного хозяйства является создание новейшей энергетической базы, основанной на широчайшей электрификации промышленности и транспорта и постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство". (Резолюция XVII конференции ВКП(б) по докладам т. Молотова и Куйбышева).

Основная линия современного технического развития в области электрификации направлена по пути осуществления на наиболее высоком уровне единой плановой электроэнергетической системы, охватывающей как производство, так и распределение и потребление энергии в народном хозяйстве.

По линии энергоснабжения эта система предполагает централизованную выработку электрической и тепловой энергии, органическое включение энергетики отдельных отраслей в единую электроэнергетическую систему с полным использованием внутренних ресурсов, с централизованным комбинированным расходованием топлива на силовые, технологические и хозяйственные нужды (теплофикация). Этим обеспечивается наиболее рациональное с народнохозяйственной точки зрения решение проблемы нагрузки, пики и резерва. Такая система обеспечивает и наиболее эфективное с народнохозяйственной точки зрения использование всех наличных ресурсов природной энергии в стране, в частности — наиболее полное использование водных сил, низкокалорийного топлива, энергетических отходов производства и новых видов энергии.

По линии передачи электроэнергии эта система предполагает развертывание единой высоковольтной сети, охватывающей все основные энергетические центры страны, народнохозяйственное регулирование через систему диспетчерских пунктов, генеральных графиков производства и распределения энергии.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

По линии распределения и потребления силовой энергии основная тенденция современного развития характеризуется полным замещением механического привода электрическим, заменой группового электропривода одиночным (многомоторная машина) и органическим слиянием последнего с рабочей машиной. Новый этап в техническом развитии электрификации производства может быть охарактеризован краткой формулой „электропроизводственная машина". Последняя является крупнейшим фактором автоматизации, коренным образом революционизирующим технику и технологию производства, по-новому ставящим вопросы расстановки людей и агрегатов.

Это основное направление технического развития „электрификации всей страны" находится в непримиримом противоречии с капитализмом. Современная электроэнергетическая техника переросла капиталистическую оболочку. Капиталистическая электрификация на многочисленных участках электроэнергетического фронта демонстрирует свое растущее бессилие освоить основные достижения техники.

Только в плановом, социалистическом хозяйстве может быть осуществлена единая электроэнергетическая система, может быть осуществлена „электрификация всей страны". Единая электроэнергетическая система — это социалистическая электроэнергетика.

Всего лишь в 1925/26 г. СССР по размерам электробаланса занимал одиннадцатое место в мире. Даже Норвегия, Швеция и маленькая Швейцария по абсолютным размерам производства электроэнергии превосходили тогда СССР. САСШ же—первая в мире по уровню электровооруженности страна — в этот год произвели электроэнергии в 26 раз больше, чем СССР. В 1932 г. электробаланс СССР уже будет только в 5—6 раз меньше, чем в САСШ, выдвигаясь на третье место в мире и на второе место в Европе (после Германии).

Первая пятилетка уже выявила огромные, несравнимые преимущества социалистической электрификации перед капиталистической. По ряду решающих качественных показателей электрификации СССР уже опередил передовые в технико-экономическом отношении капиталистические страны. В частности, например, если один установленный киловатт на электростанциях САСШ в предкризисные годы давал около 3 000 kWh в год, в Германии—около 2 200 kWh в год, в Италии и Бельгии—около 2 500 kWh в год, в Англии и Франции—около 1 800 kWh, то в СССР один установленный киловатт электрической мощности уже дал около 3 900 kWh в год. И в то время как под ударами кризиса кривая отдачи одного установленного киловатта в капиталистических странах стремительно пошла вниз, в СССР из года в год неуклонно растет уровень использования каждого установленного киловатта электрической мощности.

Если там мы имеем обострение органических противоречий между техническим уровнем электрификации и социально-экономической системой монополистического капитализма, то у нас, в СССР, электрификация развертывается на базе единой социалистической электроэнергетической системы.

Если там мы имеем усиление неравномерности технического развития, невиданное усиление процесса загнивания, то здесь мы имеем форсированный процесс технической реконструкции всех звеньев народного хозяйства, общий под'ем их с того низкого уровня, который достался нам в наследство в Октябре; широчайший простор для технического прогресса.

Однако анализ динамики электрификации первой пятилетки показывает, что мы еще не на той высоте, на которой могли и должны были бы быть. Определенную роль здесь сыграло контрреволюционное вредительство. Важнейшей задачей является быстрейшая ликвидация имеющегося отставания на этом важнейшем участке народного хозяйства.

Важнейшие количественные показатели плана развертывания электрификации (по линии производства) во второй пятилетке характеризуются следующими цифрами: около 20—22 млн. kW электрической мощности и не менее 100 млрд. kWh электроэнергии в 1937 г. Таким образом по абсолютному уровню электробаланс СССР займет второе место в мире и уже вплотную подойдет к докризисному уровню электровооруженности САСШ.

Развитие электрификации во второй пятилетке будет сопровождаться крупнейшими техническими сдвигами на всех участках электроэнергетического фронта. В центре внимания — борьба за качество электрификации, за качество электростроительства и электроснабжения.

По линии использования энергетических ресурсов план электрификации должен быть ориентирован на максимально возможное развертывание гидроэлектростроительства. Удельный вес водной энергии должен к концу пятилетки достигнуть не менее 22—25% по мощности в сводных итогах электрической мощности Союза. Тепловые электростанции в основном должны быть ориентированы исключительно на использование низкосортного местного топлива и топливных отбросов (торф, бурый уголь, сланец, антрацитовый штыб и т. д.). В отдельных районах во второй пятилетке должна получить хозяйственное освоение энергия ветра.

Использование топлива (в особенности торфа, сланцев, подмосковных углей и т. д.) должно быть связано с одновременным использованием его для химических целей. Топливо — это сырье для двух производств: энергетического и химического.

В центре внимания в борьбе за качество электроснабжения должны быть поставлены вопросы своевременной подготовки самих энергетических баз низкосортного местного топлива и топливных отбросов (своевременная подготовка торфяных болот и т. д.).

Во второй пятилетке проектирование и сооружение топливных станций должно быть в максимально возможной степени ориентировано на теплоэлектроцентрали. В условиях планового хозяйства при сооружении социалистических комбинатов, новых поселков и т. д. каждая топливная станция должна быть в той или иной степени теплоэлектроцентралью. Удельный вес ТЭЦ должен к концу второй пятилетки резко возрасти в сводных итогах тепловых электростанций Союза.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Это обусловит огромную экономию топлива и улучшение энергобаланса страны. Ни в одной капиталистической стране нет и не может быть такого масштаба развертывания теплофикации—этого важнейшего рычага повышения полезного использования топливных ресурсов.

Широкое развитие должна найти газификация топлива. Это ставит перед научно-технической мыслью актуальную задачу хозяйственного освоения методов получения высококалорийного газа и конструирования соответствующей аппаратуры и генераторов.

Широкое экспериментальное исследование и практическое освоение должна получить во второй пятилетке проблема подземной газификации углей, отмеченная еще В. И. Лениным в 1913 г.

Планирование и строительство электростанций во второй пятилетке должны в максимальной степени опираться на стандарты (оборудование со стандартными технико-экономическими показателями, стандартное вспомогательное устройство, стандарты котельной, машинного зала, трансформаторов, подстанций и т. д.). Стандартизация проектной работы, опирающаяся на жесткую стандартизацию выпускаемого оборудования, должна довести сроки сооружения электроцентралей (тепловых) до 10 мес. (перспективы социалистической стандартизации в этой области, как и во всем народном хозяйстве, огромны).

Типовой схемой электроцентрали должны быть: котел, турбоагрегат, трансформатор и линия электропередачи, связанные в один целостный агрегат. Мощности крупных районных станций должны определяться турбоагрегатами в 50–100–150 и выше тыс. kW. На передний план выдвигается проблема автоматизации электростанций (автоматизация регулирования и управления), которая должна найти самое широкое распространение,

Во второй пятилетке должно быть форсировано строительство электрических сетей и подстанций. Наряду с широким внутрирайонным кольцеванием в плане второй пятилетки должно быть запроектировано развертывание межрайонных звеньев единой высоковольтной сети Союза, которая служит важнейшим фактором единой электроэнергетической системы, охватывающей основные старые и новые, в особенности национальные, районы. Это ставит перед нашими электротехническими организациями и научно-исследовательскими институтами огромные задачи, решение которых требует широкого развертывания работ в области высоковольтной техники и аппаратуры.

Актуальными задачами второй пятилетки должны быть:

а) Наряду с широким развертыванием сетей 110 и 220 kV—промышленное освоение трансформации и передачи электроэнергии переменным током порядка 400 kV.

б) Промышленное освоение преобразования переменного тока в постоянный большой мощности и высокого напряжения и высоковольтной электропередачи постоянным током в особенности, кабельной электропередачи

в) Промышленное освоение новой выключающей аппаратуры и новых природных и синтетических изоляторов, соответствующих задачам единой высоковольтной сети.

г) Промышленное освоение автоматизации управления и защиты линий единой высоковольтной сети.

В плане второй пятилетки по-новому должны быть поставлены основные качественные технико-экономические параметры (показатели) электрификации. Электрификация промышленности, сельского хозяйства, транспорта, коммунального хозяйства и быта, строительство социалистических комбинатов, развертывание на этой основе единой электроэнергетической системы с широким внутри- и межрайонным кустованием высоковольтными линиями основной сети мощных электроцентралей, с максимальной централизацией электро- и теплоснабжения,—все это дает возможность сведения до минимума (порядка 8–10%) общего резерва в электросистемах и резкого повышения отдачи электрической мощности (в среднем не менее 5000 час.). В ряде электросистем отпадает необходимость в специально резервных агрегатах[1]. Должно быть обеспечено сильное повышение cos φ (0,9), являющегося одним из важнейших показателей рационализации электрохозяйства. Полный коэфициент полезного использования топлива на электростанциях должен быть во второй пятилетке резко повышен.

Крупнейшая и ведущая роль в завершении технической реконструкции падает на советское машиностроение. Оно должно быть развернуто в таких масштабах, чтобы „все потребности реконструкции промышленности, транспорта, связи, сельского хозяйства, торговли и т. д. были обслужены внутренним производством наиболее совершенных и современных машин“ (резолюция XVII конференции ВКП(б) по докладу тт. Молотова и Куйбышева).

Это ставит перед электрификацией особо актуальные и ответственные задачи, ибо наиболее „совершенные и современные машины“ — это в своей значительной части „электрические“ машины.

На новую ступень ставится реализация ленинского тезиса о том, что „единственная материальная основа социализма может быть крупная промышленность, способная реорганизовать земледелие“ и „что соответствующая уровню новейшей техники и способная реорганизовать земледелие крупная промышленность есть электрификация всей страны“.

Важнейшим условием для развертывания электрификации страны во второй пятилетке является максимальное форсирование советского энергомашиностроения. „Надо создать крепкую техническую базу для электрификации“ „Правда“, 28 января 1932 г.).

Форсированное по темпу и по качеству советское энергомашиностроение должно быть направлено:

а) На полное освобождение электрификации от иностранной зависимости (импорта), полное удовлетворение советским производством потреб-

[1] При выходе агрегата из строя, остальные агрегаты, параллельно работающие на сеть на нормальной экономической мощности, могут принять дополнительную нагрузку, переходя на максимально длительную мощность с несколько повышенным расходом топлива.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ностей страны в энергомашинах и оборудовании, овладение техникой производства мощных турбоагрегатов и котлов высокого давления.

б) На комплектный охват всех звеньев оборудования, необходимого для электрификации.

в) Наряду с критическим осваиванием технического опыта передовых капиталистических стран—самостоятельные исследования, разработка и промышленное освоение собственных советских типов и конструкций, целиком соответствующих социалистической электрификации.

г) На массовое и стандартизированное производство.

Ведущим фактором в плане второй пятилетки электрификации промышленности должны быть: проблема качества электрификации и проблема рационализации самого электрохозяйства промышленности. В техническом плане электрификации промышленности во второй пятилетке должны быть запроектированы полное вытеснение механического привода электрическим, замещение в большинстве отраслей группового—одиночным и специальным электроприводом (многомоторные рабочие машины) и коренная реконструкция технологии и техники отдельных производств на основе „электропроизводственной" машины, где электрический привод органически сливается с рабочей машиной.

Важнейшее значение приобретает автоматизация производства на электротехнической основе.

Мощным орудием технических сдвигов промышленности во второй пятилетке являются электросварка и электромеханическая и газовая резка, которые должны найти самое широкое распространение в народном хозяйстве, вытесняя клепку и механическую резку, преобладающие до сих пор. Автогенные методы, замещая клепку, ставят по-новому основные задачи металлургической промышленности в деле изготовления основных профилей.

Мощное развертывание электрификации, в частности гидроэлектростроительства, обеспечивает форсированное развитие во второй пятилетке электрохимии и электротермии—этих важнейших отраслей народного хозяйства (алюминий, хлор, натрий, карбид, электролиз водорода и т. д.). Внедрение электрического тока обусловливает уже во второй пятилетке решающие технические сдвиги во всех отраслях производства (уголь, металл, машиностроение и т. д.) и сильный рост производительности труда. Особенно необходимо отметить огромное значение электрификации в угольной, металлургической, металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности.

В связи с этим на электропромышленность во второй пятилетке падает ответственнейшая задача по обеспечению необходимого количества и качества специального электрооборудования для выполнения плана электрификации (специальные электромоторы, электропечи, оборудование для химического и автогенного производства и т. д.).

Важнейшими задачами электрификации сельского хозяйства во второй пятилетке являются постепенный охват основных отраслей животноводства и птицеводства, первичной обработки сельхозпродуктов и технических культур, использование электричества для ирригации, электрификации стационарных энергоустановок, а также развитие работ по внедрению электричества во все другие процессы сельскохозяйственного производства (электропахота и т. д.).

Электрификация транспорта является ведущим звеном реконструкции железнодорожного транспорта. Во второй пятилетке электрификация транспорта должна охватить наиболее напряженные и ответственные линии, общее протяжение которых значительно превысит современную протяженность всех электрифицированных железных дорог мира.

На этой электрифицированной части, которая составит около 20—25% протяжения всей железнодорожной сети Союза, будет сосредоточено около 60% грузооборота.

Осуществление этого плана электрификации транспорта даст возможность: а) значительно повысить провозную и пропускную способность этих линий; б) ускорить оборот и значительно сократить потребность в подвижном составе по сравнению с паровой тягой; в) получить значительную экономию высокоценного дальнепривозного топлива и будет служить весьма важным фактором улучшения общего энергобаланса страны в результате включения транспорта в единую электроэнергетическую систему народного хозяйства; г) сэкономить значительное количество металла за счет относительного сокращения подвижного состава и дополнительных путей; д) даст значительную экономию капиталовложений как в самый транспорт, так и в отрасли промышленности, обслуживающие транспорт.

Этот план электрификации транспорта возлагает на промышленность ответственную задачу по своевременному обеспечению советским оборудованием высокого качества.

Централизованные электрофикация, теплофикация и газификация являются важнейшим фактором реконструкции городского хозяйства и быта, роста благосостояния трудящихся масс и удовлетворения возрастающих культурных потребностей. Электробаланс коммунального хозяйства и быта будет главным образом и в первую очередь направлен по линии электрификации обобществленных форм бытовых потребностей (фабрики-кухни, клубы, прачечные и т. д.).

Борьба за осуществление плана электрификации ставит перед научно-исследовательской мыслью огромные требования по форсированию научно-технической, теоретической работы, которая должна подготовить разрешение важнейших электро- и теплотехнических проблем, выдвигаемых второй и третьей пятилетками. Эта теоретическая работа должна развертываться на основе ленинской теории электрификации и непримиримой борьбы на два фронта против извращений и всяких попыток ревизии технической политики партии.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Электропромышленность СССР на пороге 2-й пятилетки [1]

Электропромышленность рапортует XVII Всесоюзной конференции ВКП(б) об одержанной рабочим классом под руководством партии победе — о выполнении пятилетнего плана в три года. За последние 12 месяцев выпуск продукции союзной электропромышленности составил 930 млн. руб. против задания последнего года пятилетки в 895,9 млн. руб., утвержденного V С'ездом советов СССР.

Об'ем производства электропромышленности в 10 раз превысил довоенный уровень, а за последние три года вырос в пять раз.

Весь мир является свидетелем величайших побед пролетариата на фронте социалистической стройки и в то же время загнивания, растущего упадка капитализма под ударами мирового кризиса.

Электропромышленность Союза, занимавшая еще в 1925 г. 8-е место в мире, в 1931 г. вышла на 3-е место.

Электропромышленность не только значительно выросла количественно, но и одержала крупные победы на путях овладения новейшей техникой.

Построив в 1930 г. первый турбогенератор мощностью в 24 тыс. kW, электропромышленность к концу 1931 г. выпустила турбогенератор в 50 тыс. kW, работающий в настоящее время на Каширской электростанции. Вслед за построенными в свое время и успешно работающими гидрогенераторами для Земо-Авчальской электростанции и Волховстроя в настоящее время заканчивается производством первый гидрогенератор для Днепростроя мощностью в 62 тыс. kW. Постройкой днепровских гидрогенераторов наш Союз в этой области обгоняет Европу и догоняет крупнейшие американские фирмы.

Выпущен первый мощный электропривод для блюминга, что является крупнейшим достижением в области освобождения СССР от экономической зависимости в деле электрификации металлургии.

Строятся трансформаторы мощностью до 120 тыс. kVA при напряжении в 115 тыс. kV. Производятся масляные выключатели на разрывную мощность в 1 млн. kVA.

Выпущен подземный кабель напряжением в 120 тыс. kV и образец подземного кабеля на 220 тыс. kV и голого провода на 380 тыс. kV. В этой области электропромышленность Союза в техническом отношении обогнала уже Европу, выйдя на уровень американской техники.

Производятся моторы новых типов и усовершенствованных конструкций, предназначенные для обслуживания основных отраслей народного хозяйства: врубовые моторы для механизации угольной промышленности, буровые моторы для нефтяной промышленности, прокатные — для металлургии и т. п.

В области электрометаллургии выпускаются дуговые электропечи и построены первые индукционные печи высокой частоты для электростали и плавки цветных металлов.

Серьезные успехи достигнуты в области электросварки. Выпуск машин для дуговой сварки возрос в 1931 г. до 6 тыс. шт.; произведен ряд новых типов электросварочных аппаратов, стоящих на уровне современной техники.

Создан ряд новых материалов, как, например, твердые сплавы „Победит".

Получен советский неон.

В области народной связи успешно разрешена задача постройки мощных радиопередающих станций. За последний год сданы в эксплоатацию четыре станции мощностью в 100 kW, а в настоящее время монтируется радиовещательная станция в 500 kW, являющаяся крупнейшей в мире. Для этих станций поставлено производство мощных генераторных ламп в 50 kW и изготовлена первая опытная лампа в 250 kW.

В области проводной связи поставлено массовое производство телефонной автоматики. Изготовляются аппараты для многократного телефонирования и телеграфирования, трансляции высокой частотой, что открывает широкие перспективы в отношении проволочной связи на далеких расстояниях и лучшего использования существующих линий. Разрешена задача передачи изображений по радио и проводам, звукового кино и телевидения.

Мощное развитие электропромышленности и технические ее достижения были обеспечены лишь благодаря твердому руководству ленинского Центрального комитета ВКП(б) во главе с вождем партии т. Сталиным, на основе последовательного проведения генеральной линии партии, в упорной борьбе на два фронта со всякого рода ее искажениями, в условиях высокого трудового под'ема стотысячной армии рабочих, инженеров, техников и служащих электропромышленности, при широком развитии социалистического соревнования и ударного движения.

---

[1] Рапорт не мог быть помещен ранее ввиду позднего поступления в редакцию.

Ред.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Ряды ударников насчитывают в настоящее время до 90 тыс. рабочих и служащих. В своем развитии ударное движение выдвинуло новые формы социалистического соревнования,—массовую организацию планово-оперативных и рационализаторских бригад, борьбу с потерями, займы рабочей смекалки, бригады образцовой продукции. В настоящее время широкие размеры получает организация в электропромышленности хозрасчетных бригад.

Вступая в новый хозяйственный год и готовясь ко второй пятилетке, электропромышленность берет на себя обязательство еще более круто повернуться лицом к решающим отраслям народного хозяйства — металлургии, углю, машиностроению и железнодорожному транспорту и, развернув строительство новых заводов и завершив реконструкцию существующих, в кратчайший срок стать действительно ведущим звеном социалистической экономики СССР и в течение ближайших двух лет полностью обеспечить экономическую независимость Союза в отношении электрооборудования.

На полной до конца реализации исторических указаний т. Сталина, под ленинским руководством Центрального комитета ВКП (б) электропромышленность большевистскими темпами осуществит директиву партии „догнать и перегнать передовые в технико-экономическом отношении страны капитализма".

Председатель Правления ВЭО **И. П. Жуков**

Управляющий ВЭСО **В. И. Романовский**

„Важнейшим элементом технической реконструкции народного хозяйства является создание новейшей энергетической базы, основанной на широчайшей электрификации промышленности и транспорта и постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство с использованием огромных ресурсов водной энергии, каменноугольных залежей основных и местных бассейнов, местных видов топлива (торф, сланцы). Конференция считает безусловно необходимым добиться в 1937 г. производства электроэнергии не менее 100 млрд. kWh против 17 млрд. в 1932 г., добычи угля не менее чем 250 млн. т против 90 млн. в 1932 г. и увеличения добычи нефти в $2^1/_2$—3 раза".

(Из резолюции XVII конференции ВКП (б) по докладам тт. Молотова и Куйбышева).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Капиталистическая электрификация под ударами кризиса [1])

В. Вейц

I.

Проблема электрификации является одной из наиболее актуальных проблем монополистического капитализма.

Со страниц специальной технической печати вопросы энергетики и электрификации перекочевали на страницы экономической и политической литературы и прессы, став в центре внимания хозяйственной и общественной жизни капиталистических стран. И, если можно так выразиться, вопросы „энергетической" политики стали одним из важных моментов в программах различных политических групп и партий в этих капиталистических странах (САСШ, Англия, Германия, Франция и др.).

Чем конкретно обусловлена социально-экономическая и политическая актуальность этой проблемы в капиталистических странах?

В. И. Ленин в 1921 г. писал: „Что современная передовая техника требует электрификации всей страны и ряда соседних стран по одному плану; что такая работа вполне осуществима в настоящее время", но „что пока остаются капитализм и частная собственность на средства производства, электрификация целой страны и ряда стран, во-первых, не может быть произведена планомерной, во-вторых, не может быть произведена в пользу рабочих и крестьян".

В этих строках дан глубочайший анализ проблемы электрификации монополистического капитализма.

На этом основном участке производительных сил, как ни в какой другой отрасли, резко сконцентрировались назревшие, глубокие непримиримые противоречия между поступательным движением уровня „материальных производительных сил" (Маркс) и производственными отношениями капитализма. Современная электро-энергетическая техника переросла капиталистическую оболочку. Капитализм бессилен промышленно освоить ряд основных достижений технического прогресса в области электрификации. Он выступает уже как глубоко реакционная сила, сковывающая технический прогресс.

Основные тенденции современного технического развития и прогресса в области электрификации направлены, как известно, по пути осуществления на наиболее высоком народнохозяйственном уровне единой плановой электроэнергетической системы, охватывающей как производство, так распределение и потребление энергии во всем народном хозяйстве. По линии энергоснабжения эта система предполагает централизованную выработку электрической и тепловой энергии, органическое включение энергетики отдельных отраслей хозяйства в единую электроэнергетическую систему, с полным использованием внутренних энергетических ресурсов с комбинированным расходованием топливных ресурсов (теплофикация) на основе наиболее рационального с народнохозяйственной точки зрения решения проблемы нагрузки, пики и резерва.

Такая система обеспечивает наиболее эффективное с народнохозяйственной точки зрения использование всех наличных ресурсов природной энергии в стране, в частности, наиболее полное использование, на новой основе, водных сил [2]), низкокалорийного топлива, энергетических отходов производства и новых видов энергии (ветер и т. д.).

По линии передачи электрической энергии эта система характеризуется развертыванием единой высоковольтной сети, охватывающей все основные энергетические центры страны, народнохозяйственное регулирование через диспетчерские пункты, графиков производства и распределения энергии.

По линии распределения и потребления силовой энергии основная тенденция современного развития характеризуется полным замещением механического привода электрическим (стопроцентная электрификация), заменой группового электропривода одиночным и специальным (многомоторные рабочие машины) и органическим слиянием последнего с рабочей машиной. Новый этап в техническом развитии электрификации производства может быть охарактеризован краткой формулой „электропроизводственная машина", в подлинном смысле слова. Последняя является крупнейшим фактором, коренным образом революционизирующим технику и технологию производства, автоматизацию последнего, по новому решающим вопросы расстановки людей и агрегатов.

В это основное русло по существу впадают все частные потоки технического прогресса на разных участках энергетического фронта, ибо только в рамках такой плановой народнохозяйственной системы могут быть фактически осуществлены с максимальной эффективностью эти достижения техники на отдельных участках электроэнергетики.

Наиболее передовые технические умы и в капиталистическом мире вынуждены открыто заявить, что пути технического прогресса в области энергетики и электрификации скрещиваются на проблеме единой народнохозяйственной электроэнергетической системы, на проблеме плановой электрификации, в вышеприведенном понимании.

Вот это основное направление технического развития электрификации „всей страны" находится в непримиримом противоречии с капитализмом. В недрах монополистического капитализма уже „созрели" элементы техники грядущей фазы планового социалистического хозяйства в том смысле, что полный эффект этих достижений техники может быть фактически развернут лишь в рамках социалистической системы.

Необходимо, далее, отметить, что актуальность энергетической проблемы непосредственно обусловлена еще тем, что электрификация стала (в связи с техническими достижениями на этом фронте) одним из важных факторов в борьбе империалистических сил за хозяйственную и техническую гегемонию как внутри отдельных капиталистических стран, так и в сфере мировой экономики и политики.

Еще накануне войны, один из наиболее ярких представителей монополистического капитализма, глава AEG, Ратенау, рисуя конкретную картину гегемонии германского империализма на европейском континенте, не без гордости заявил, что в его лабораториях имеются уже такие достижения технического прогресса, которые в ближайшем будущем сделают экономически возможным снабжение электроэнергией промышленных центров Европы из единой системы электроцентралей, сосредоточенных в основных энергетических бассейнах Германии. Иными словами, и Германия получает наиболее действенный контроль над развитием производительных сил европейского континента (известно, как „оправдались" в действительности эти чаяния германского империализма!).

Отметим для иллюстрации и те многочисленные проекты „генпланов" электрификации капиталистической Европы — Вьеля, Оливена, Шенгольцера, которые являются по существу прямым отражением этого факта. Сюда же относится и ряд технических проектов электрификации стран Южной Америки, Африки и Азии, разработанных, так сказать, „в порядке общественной нагрузки" германскими и американскими инженерами.

Можно, наконец, как пример привести изданную в Вене Немецко-Австрийским союзом специальную работу на тему „Anschluss und Energiewirtschaft", где проблема об'единения электрохозяйства Германии и Австрии трактуется как крупнейшая политическая сила в пользу фактического присоединения Австрии и Германии.

Число этих иллюстраций можно значительно увеличить.

(В английской, германской и американской специальной литературе мы имеем ряд статей, посвященных техническим и экономическим вопросам электрификации стран Южной Америки, Африки и Азии, которые наглядно рисуют значение электрификации в борьбе империалистических сил за гегемонию. В качестве примера можно сослаться на очерк Siddeley, посвященный вопросам электропромышленности и электрохозяйства Аргентины, опубликованный в ноябрьском номере 1931 г. „The Electrical Review". Сиддлей прямо констатирует, на основе анализа фактического материала, что „главное препятствие к усилению английского влияния (в Аргентине) является то обстоятельство, что электроэнергетическое хозяйство находится, главным образом, в иностранных руках". Он подробно анализирует пути английской экспансии в аргентинское электрохозяйство).

На актуальность энергетической проблемы непосредственно влияет и чрезвычайно низкий уровень полезного использования энергетических ресурсов; крайне низкий средний уровень рационализации энергетического аппарата, ограниченность и

[1]) В более полном виде очерк будет печататься в органе института техники и технической политики.

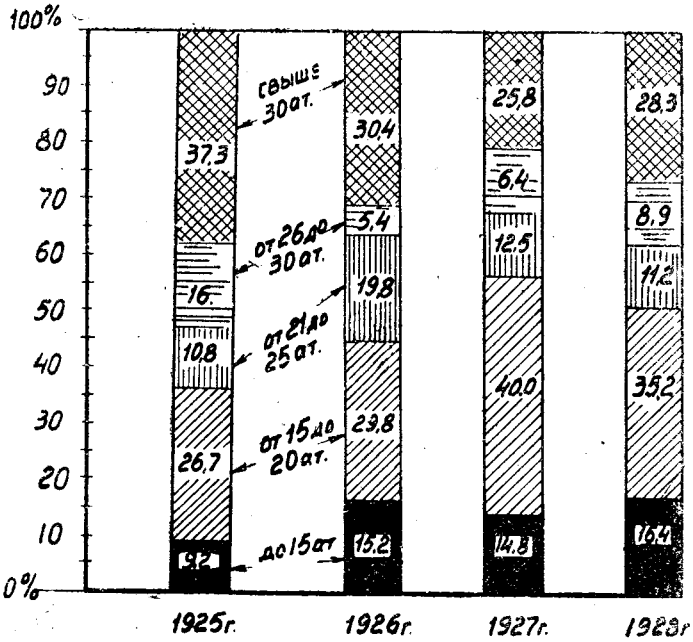
[2]) В связи с возможностью при этих условиях осуществления наиболее рационального кустования высоковольтными сетями как гидроцентралей, использующих водную силу рек различных режимов, так и гидроцентралей с тепловыми.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

несоответствие последнего общему ходу развития производительных сил.

В этой связи необходимо особо подчеркнуть некоторые специфические моменты, характеризующие современное развитие капиталистической электрификации. Это—прежде всего глубокая неравномерность развития как в отраслевом, так и в пространственном разрезах. Наряду с огромными достижениями технического прогресса на отдельных участках энергетического фронта, в массе продолжает уживаться и развиваться относительно отсталая техника. Например, в теплосиловом хозяйстве Германии имеются уже отдельные установки в 225 at (Германия в этом отношении занимает наиболее передовые технические позиции в мире). Однако фактический материал о развитии теплосилового хозяйства в той же Германии, в частности, доложенный на II Энергетическом конгрессе (проф. Маргер и др.), демонстрирует, что за последние 5 лет не только не уменьшился, но даже увеличился удельный вес теплосиловых установок с относительно низким и средним давлением (порядка 10—20 at).

Это ярко иллюстрирует нижеприводимая диаграмма. Причем важно отметить, что эти данные относятся только к новым теплосиловым установкам Таким образом даже в новом строительстве продолжают превалировать теплосиловые установки с низким и средним давлением.



Установленные в Германии котлы по величине давления (за 100% принята поверхность нагрева новых котлов, установленных в каждом году).

То же мы наблюдаем и в других областях энергетики и электрификации капиталистических стран. Высокомощные турбогенераторные агрегаты в 100—200 тыс. kW—рекорды современного технического прогресса, высокий уровень концентрации и централизации электрохозяйства, наряду с широко распространенной примитивной паровой техникой,—наряду с огромной массой маломощных децентрализованных первичных установок крайне ничтожной эффективности, с значительными непроизводительными затратами капитала и эксплоатационных издержек и с целым рядом других органических недостатков (резерв, нагрузки и т. д.).

Крупнейшие достижения техники на основных участках энергетики в области повышения степени полезного использования топливных ресурсов,—наряду с чрезвычайно низким, в среднем, коэфициентом полезного использования природных ресурсов энергии в народном хозяйстве, наряду с варварской, хищнической эксплоатацией и потреблением топлива [1]).

Современный этап развития капитализма в сильнейшей степени углубляет это противоречие. „Быстрый рост техники несет с собой все больше элементов несоответствия между различными сторонами народного хозяйства, хаотичности, кризисов“ (Ленин).

Глубокий разрыв между потенциальной мощностью энергетического аппарата и уровнем его фактического использования является следующим характерным моментом послевоенной экономики капиталистического хозяйства. „Война оставила большинству капиталистических стран тяжелое наследство в виде хронической недогрузки предприятий“ (Сталин).

Средний коэфициент использования установленной мощности электростанций общего пользования, т. е. относительно наиболее высокого по техническому типу сектора электроснабжения, составил в лучшие послевоенные годы в Англии и во Франции около 22%, в Германии—около 25%, в Италии, в Бельгии—около 28%, в САСШ—около 34—35%.

(Иными словами, установленный киловатт мощности на станциях общего пользования в лучшие послевоенные годы давал в Англии и во Франции около 1 800 kWh в году, в Германии—около 2 200 kWh в году, в Италии, в Бельгии—около 2 600 kWh, в САСШ и в Японии около 3 000 kWh в году).

Таким образом, в этих странах около $^7/_{10}$ возможной отдачи электрической энергии фактически недовырабатывалось даже в лучшие послевоенные годы.

Достаточно известна та огромная народнохозяйственная роль, которую играет фактор нагрузки в развитии (в рационализации и в реконструкции) каждой отрасли производства (промышленное освоение новых технических достижений непосредственно связано с проблемой нагрузки). В электроэнергетическом секторе народного хозяйства проблема нагрузки приобретает действенное значение.

1. Электрохозяйство принадлежит к отраслям с относительно высоким органическим составом капитала, поэтому нагрузка здесь является важнейшим фактором, обусловливающим величину и структуру издержек производства.

2. Один из важнейших качественных показателей работы—коэфициент полезного действия всей установки—находится в непосредственной зависимости от нагрузки.

3. В общем разрезе проблемы нагрузки в электрохозяйстве особое значение приобретает так называемая проблема пики и резерва.

В рамках настоящей статьи мы не можем, естественно, подробно остановиться на технической и экономической стороне этого вопроса. Достаточно указать, что работы последнего мирового энергетического конгресса целиком проходили под знаком проблемы нагрузки. Она занимает одно из центральных мест в современной литературе и печати. Инж. Недден, один из руководителей германской делегации на II Мировом энергетическом конгрессе, должен был прямо констатировать, что „фактор нагрузки является альфой и омегой энергетической азбуки“ и что никакое другое мероприятие в области рационализации электрохозяйства не дает такого экономического эффекта, как улучшение коэфициента нагрузки. Орган тяжелой индустрии „Бергверксцайтунг“, подводя баланс работам II Мирового энергетического конгресса, не мог не подчеркнуть, что „руководящей темой в работах конгресса была проблема повышения использования (Benutzungsdauer) станций“.

Огромный разрыв между потенциальной мощностью электрохозяйства и его фактическим использованием наложил глубокий отпечаток на проблему капиталистической электрификации в целом.

Разрешение проблемы нагрузки упирается в неразрешимую для капитализма проблему плановой электрификации.

II.

Охвативший весь мир жесточайший мировой экономический кризис с особой силой ударил по капиталистической электрификации, по этому основному участку производительных сил. Впервые в послевоенном развитии электрификации, электробалансы основных капиталистических стран, в результате первых приступов кризиса, дали абсолютное снижение, несмотря на то, что электроконцерны принимали „героические“ усилия для расширения сбыта электроэнергии в новые сферы, как-то: коммунальное хозяйство, быт, реклама и т. д.

Электробаланс САСШ уже в 1930 г. дал резкое снижение. Отпуск электроэнергии одних станций общего пользования на промышленные цели по опубликованным предварительным данным сократился на 3 млрд. kWh, несмотря на то, что в начале 1930 г. был предвещен рост на 10 млрд. kWh (журнал Electrical World).

Особенно катастрофическое падение электробалансов имело место в ряде районов страны, где абсолютное снижение за последние месяцы 1930 г. составляло 20 и выше процентов (Южноатлантические штаты, горный район и т. д.).

1931 г. дал дальнейшее сильное снижение даже по сравнению с 1930 г. [1]).

[1]) По подсчетам западно-европейских и американских специалистов средний коэфициент полезного использования потребленных в народном хозяйстве энергетических ресурсов составляет по САСШ ок. 8%, по Англии ок. 8,8%, по Германии ок. 6% (см. подсчеты проф. Nash и др.)

[1]) Только за первые 6 мес. 1931 г. производство электроэнергии по сводке „Electrical Times“ (5/XI 1931 г.) снизилось на 3.10 kWh, т. е., примерно, на 8% уже по сравнению с соответствующим периодом 1930 г.

Вологодский университет www.bookite.ru

Электроэнергетический индекс „Аналиста“ [1]) уже на много ниже самого низкого пункта кривой во время кризисного 1921 г.[2]) и из месяца в месяц идет дальше по нисходящей линии.

Такую же картину рисует специальный электрический индекс (Index of Electrical Production), публикуемый американским журналом „Electrical World“. (Последний охватывает около 4 тыс. крупнейших промышленных предприятий, преставляющие все отрасли промышленности и районы страны. Базой этой кривой служила среднемесячная за 1923—1925 гг.). Эта кривая показывает, что с ноября 1929 г. имеет место неуклонное снижение потребления электроэнергии в промышленности страны, причем в 1931 г. эта кривая опустилась уже на много ниже уровня среднемесячного за 1923—1925 гг. потребления электроэнергии. Наконец, публикуемые в американской периодике „№ ELA“, „Eletrical World“, конъюнктурные данные о недельной валовой выработке электроэнергии станциями общего пользования в стране показывают, что в 1931 г. ординаты кривой производства электроэнергии по абсолютным размерам на много ниже соответствующих ординат кривых в 1930 г., в 1929 г., а в последние месяцы ниже ординат 1928 г.

Даже американская общая печать с нескрываемой тревогой следит за кривой электрификации, как за барометром хозяйственной погоды. Оптимистические заявления лидеров электрических компаний (Слоана и др.) в первый период кризиса сейчас сменились пессимистическими рассуждениями, всевозможными рецептами и знахарством.

Еще более резко ударил кризис по электрификации Германии—второй в мире и первой в Европе по уровню электровооруженности страны.

Хотя до сих пор не опубликованы сводные официальные материалы даже за 1930 г., но имеющиеся данные в специальной печати демонстрируют всю глубину кризиса, поразившего электрификацию германского хозяйства. Отчетные данные по 122 крупнейшим электроцентралям Германии (производство которых охватывает свыше 60% всего электробаланса страны) показывают, что с ноября 1929 г. кривая производства электроэнергии пошла на снижение (октябрь 1929 г. имел еще плюс 20,7% по сравнению с октябрем 1928 г.).

В последние месяцы 1930 г. абсолютное снижение производства электроэнергии по этим крупнейшим, наиболее высоким по техническому типу, электроцентралям, составляло около 15% в сравнении с соответствующим периодом 1929 г., а первые три квартала 1931 г. дали дальнейшее снижение на 12—14% уже по сравнению с соответствующим периодом кризисного 1930 г.

Еще более резкое падение показывают данные о потреблении электроэнергии в промышленности. Соответствующий индекс, который строит официальный орган германского статуправления „Wirtschaft und Statistik“ по 103 крупнейшим предприятиям с годовым потреблением электроэнергии порядка около $6^1/_2$ млрд. kWh (в 1929 г.) показывает, что уже в последние месяцы 1930 г. снижение составляло около 19—20% по сравнению с соответствующими данными предыдущего года. 1931 г. дает дальнейшее снижение уже по сравнению с кризисным 1930 г. (минус 15 и более процентов). И в данном случае необходимо иметь в виду, что эта цифра относится только к технически и экономически более сильной части промышленности. Германская печать уже вынуждена прямо констатировать, что „развитие электрификации в кризисный 1930 г. потерпело глубокую реакцию“.

В качестве иллюстрации можно привести следующую, в известном смысле, типовую выдержку из германского журнала „Die Wärme“ (декабрь 1931 г.), где приводятся данные о работе одной из крупнейших электростанций Черновиц, входящая в систему Электроверке.

„За последние недели“,—пишет журнал,—„отпуск электроэнергии станции Черновиц резко сократился, так что половина котлов остановлена. Наряду с частной промышленностью резко сократили потребление электроэнергии города Берлин, Шпандау, Лейпциг и Магдебург. В соответствии с этим должны быть уволены рабочие на угольных копях Гольпа, так как на поверхности скопились большие запасы угля“.

В основном ту же картину мы наблюдаем и в электрическом хозяйстве других капиталистических стран (Канада, Италия и др.), с теми лишь особенностями, которые характеризуют строение электроэнергетической базы данной страны (удельный вес гидроэнергии в балансе и т. д.) [1]).

Но эти цифры абсолютного снижения электробалансов еще не отражают в достаточной степени глубины удара кризиса капиталистической электрификации.

Падение производства электроэнергии непосредственно вызвало, прежде всего, дальнейшее снижение уровня использования электрических мощностей, которые, как мы уже знаем, даже в лучшие послевоенные годы были крайне низки и измерялись всего в 20—30%.

Предварительные отчетные данные, опубликованные в американской печати, показывают, что в САСШ в 1930 г. число часов работы установленной мощности только на станциях общего пользования сократилось на 300 час., т. е., примерно, на 10% по сравнению с соответствующим уровнем использования в 1929 г. В 1931 г., как показывают отчетные материалы, кривая нагрузки стремительно пошла дальше вниз.

Еще более резкое снижение коэфициента использования имело место в европейском электрическом хозяйстве, в частности, в Германии. Хотя прямые сводные данные, на основе которых можно было бы сделать соответствующие исчисления отсутствуют, но учет того снижения размеров производства электроэнергии, которое имело место, даже при стабильности установленной мощности, достаточно ярко говорит о масштабе снижения и коэфициентов использования. В действительности же, имел место в 1929—1930 гг. ввод значительных новых мощностей, которые были начаты постройкой в предыдущие годы. В 1929 г. введенная новая мощность на станциях общего пользования составила 19% и на промышленных станциях—около 3%, и в 1930 г. введена новая мощность на всех электростанциях ок. 1,1 млн. kW (по данным „Electricitu“ 1931). А это значит, что сводный коэфициент использования потенциальной мощности резко скатился вниз. Об этом говорят и прямые данные годовых отчетов ряда крупнейших электросистем Германии (Беваг[2], Электроверке, Рейнско-Вестфальская система и др.). В 1931 г. кривая нагрузки еще более резко снизилась.

С этими фактами связан целый ряд важнейших качественных сдвигов в капиталистической электрификации, переоценить которые трудно. Падение коэфициента использования энергетического аппарата ниже критического уровня означает, что капиталистическим предпринимателям становится невыгодно и нерентабельно переходить к технически более совершенному оборудованию с более высокими, с народнохозяйственной точки зрения, техническими и экономическими показателями, становится невыгодно реализовать новые достижения техники. Падение нагрузки ниже критического уровня означает, что эксплоатация старого, технически более отсталого оборудования, с чрезвычайно низкими эксплоатационными показателями становится для капиталистов более рентабельной и выгодной по сравнению с техническим более совершенным оборудованием, с более высокими эксплоатационными показателями, но вместе с тем и с более высокой долей постоянных, не зависящих от нагрузки, расходов (амортизация и т. д.).

Под ударами кризиса все более и более стали множиться факты, свидетельствующие о чрезвычайном усилении процесса загнивания монополистического капитализма, о неслыханном обострении противоречий между возможностями и тенденциями технического развития в области электрификации, с одной стороны, и капиталистической системой—с другой. Все множатся факты, о которых уже открыто говорит буржуазная печать, свидетельствующие о растущем бессилии капитализма освоить достижения технического прогресса, о своем бессилии переключить производительные силы в области электрификации на качественно более высокую техническую ступень.

---

[1]) Индекс „Аналиста“ строится по данным о производстве электроэнергии всеми станциями общего пользования. В этом индексе эллиминирована так называемая „вековая линия“ ((long time trande) и сезонные колебания.

[2]) Самый низкий пункт кривой электрического индекса „Аналиста“ во время послеоленного кризиса 1921 г. (июнь) составил 89,2.

[1]) В ноябрьском журнале „Fhe Electrical Times“ (Англия) и в декабрьском журнале „ETZ“ (Германия) приведены придварительные итоги производства электроэнергии в Канаде, Италии, Франции и Англии за 7 мес. 1931 г.

В сравнении с соответствующим периодом кризисного 1930 г. Канада дала снижение производства электрической энергии на 8,1%, Франция на 9,2%, Италия на 4,2% и лишь Англия по этим материалам дала прирост на 3,9% (на 200 млн. kW|час).

К этим данным необходим сугубо критический подход, ибо они, в-первых, охватывают только часть электростанций, притом технически и экономически наиболее сильную и организованную, которые тем самым в состоянии оказывать большее сопротивление влиянию кризиса (в том числе и за счет перекладывания тижести ударов кризиса, прежде всего, на децентрализованные мелкие установки). В-вторых, эти данные за 1931 г. не вполне могут быть сопоставлены с соответствующими данными 1931 г. по кругу охвата. Эти цифры показывают, однако, дальнейшее резкое снижение электробаланса в 1931 г. уже по сравнению с кризисным 1930 г.

[4] В систему БЕВАГ в 1930 г. вступила новая станция Вест с мощностью (1-я очередь) в 120 000 kW. Суммарное же производство электроэнергии на берлинских станциях в 1930 г. абсолютно снизилось, примерно, на 100 млн. kWh. Вполне понятно, что сводный коэфициент использования установленной мощности дал резкий скачок вниз (см. журн. Electrizitätswirtschaft“ за 1931 г.

Белгородская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Приведем только несколько ярких примеров, число которых можно было бы сильно умножить, если бы это позволяли рамки статьи.

Широко известно, например, огромное народнохозяйственное значение послевоенных достижений в области высокого давления в теплосиловом хозяйстве. Но капиталистическая электрификация не в состоянии реализовать в развернутом виде достижений техники на этом участке не в состоянии реализовать в развернутом виде народнохозяйственный эффект технического прогресса в этой области.

Об этом говорят беспристрастные цифры и факты. В этом „расписалась" капиталистическая энергетика словами ее виднейшего ученого профессора Мюнцингера, который в своей последней работе об основных тенденциях в современном развитии силового хозяйства вынужден был констатировать, что: „В настоящий период господствует всеобщее мнение, что переход от 20 к 100-at давлениям в большинстве германских электростанций себя не оправдывает вследствие низкой нагрузки станций, несмотря на то, что всего 7% дополнительных капиталовложений противостоят не менее 15% снижения удельных расходов тепла на один полезно отпущенный киловатт-час при полной нагрузке" (журнал „Elektrizitätswirtschaft", 1931).

Вот несколько цифр, взятых из последних номеров германского журнала „Archiw für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen", где приведен отчет за 1930 г. германского об'единения производителей котлов и аппаратуры (Vereinigung der Deutschen Dampfkessel und Apparate-Industrie).

Если сгруппировать установленные новые котлы по размерам давления, то в 1929 г. на долю котлов низкого и среднего давления до 20 at падало 32,7% (по поверхности нагрева); от 20 до 45 at—63,8% и на группу котлов свыше 45 at—3,5% [1]).

В 1930 же году удельный вес первой группы (низкого и среднего давления—до 20 at) резко повысился в общей мощности новых установок, составив 43,6%; удельный же вес второй группы (от 20 до 45 at) снизился до 56,4%, а новых установок, с давлением свыше 45 at в этих материалах вовсе не зарегистрировано.

Давление at	1925 г.	1929 г.	1930 г.
До 20	35,9	32,7	43,6
От 20 до 45	63,7	63,8	56,4
Свыше 45	0,4	3,5	0,0
	100	100	100

Иными словами, эти цифры демонстрируют, что германское теплосиловое хозяйство под ударами кризиса пошло „назад" в части освоения достижения техники в области высокого давления [2]).

В этом ярком факте находит свое полное подтверждение указанный выше тезис о связи промышленного освоения технического прогресса с проблемой нагрузки.

Годовой отчет прямо отмечает глубокое влияние кризиса на этом участке энергетического хозяйства.

В своих выводах отчет констатирует, что „современное состояние хозяйства создает крайне тяжелое положение для котельной промышленности. Сбыт внутри страны резко сократился, в результате чего потенциальная производственная мощность котлозаводов используется лишь в крайне незначительной степени.

Рассчитывать же на экспорт в связи с мировым кризисом также не приходится, ибо „говоря о вывозе, речь идет о значительной части принудительного сбыта на крайне невыгодных и рискованных условиях" [3]).

Чрезвычайно любопытен раздел отчета, посвященный патентам. Журнал пишет, что: „Годовой отчет жалуется на постоянный рост заявок и распределение патентов. Борьба против выдачи слишком большого количества патентов не привела еще к желанным результатам. Рост патентов является для промышленности большим затруднением. Приветствуется поддержка Союза германских инженеров, приложившего немало усилий к борьбе против роста выдачи патентов".

[1]) Вся мощность зарегистрированных новых котлов в этом году принята за 100%. Цифры относятся только к новым установкам внутри германского производства и не включают переоборудованные котлы.

[2]) Необходимо при этом еще иметь в виду, что в 1930 г. вошли в строй некоторые крупные установки, начатые постройкой в предыдущие годы (в 1928/29 г.), как, например, электроцентраль Вест.

[3]) И уж очень наивно звучит заключительный тезис о том, что несмотря на тяжелое положение, германская котельная промышленность не щадит никаких средств и не останавливается ни перед какими жертвами, чтобы снизить издержки производства пара, что лучше всего демонстрирует факт значительного снижения стоимости котельных установок, благодаря чему цены производства пара, отнесенные к 1 kW, за последние 10 лет уменьшились в среднем (кругло) в 2 раза".

К этому едва ли что можно прибавить. Капиталисты совершенно открыто выступают против технического прогресса, против усовершенствований и технических изобретений на одном из важнейших участков народного хозяйства.

Обратимся к другой проблеме, связанной с достижениями техники в области централизованного комбинированного расходования топлива на технологические, силовые и хозяйственные нужды (теплофикация). Известно огромное народнохозяйственное значение теплофикации в технической реконструкции и рационализации энергетического хозяйства. Но капиталистическая электрификация не в состоянии реализовать в народнохозяйственном плане этих достижений техники на данном решающем участке энергетического хозяйства. Это вынуждены были прямо констатировать виднейшие буржуазные техники и ученые на II Мировом энергетическом конгрессе. Об этом вынуждена прямо писать буржуазная специальная литература и печать. Так, крупнейший германский теплотехник, проф. Маргер, в своем докладе на мировом энергетическом конгрессе, говоря об огромном экономическом эффекте теплофикации, должен был констатировать, что в Германии осуществление этого технически более высокого типа промышленной энергетики непосредственно наталкивается на частнохозяйственную децентрализацию (Zersplitterung) теплосилового хозяйства [1]).

О фактах прямого расточительства на фронте энергетики и электрификации говорят многочисленные материалы, приведенные в докладах на энергетическом конгрессе и в специальной литературе и печати.

Обратимся, далее, к вопросам концентрации и централизации

Хорошо известно огромное значение технических достижений в части концентрации производственных мощностей и централизации энергетического хозяйства. В этой области капиталистическая электрификация за послевоенные годы достигла на отдельных участках крупных успехов [2]).

Буржуазная печать в предкризисные годы с победным тоном сообщала о все новых рекордах капиталистической техники в этой области. (Мы здесь не будем касаться вопроса о том, в какой мере и эти достижения техники в области концентрации и централизации были в достаточной степени освоены капиталистической электрификацией.) Но за последние год-два все более явственно становится заметна в буржуазной литературе и в практике своеобразная реакция. Делаются даже попытки теоретически обосновать тезис о так называемом „оптимуме" концентрации; привлекается научный аппарат для доказательства того, что за пределами определенного уровня этой концентрации, экономичность последней якобы не возрастает, а начинает относительно падать (например, выступление Морроу, редактора „Электрикал Ворлд", со своим программным докладом „Основные линии развития стоимости энергии в САСШ"). Эти научные открытия „закона убывания плодородия" в применении к электрификации не выдерживают, конечно, ни малейшей критики. Это служит лишь очередным прикрытием резко обострившихся в период кризиса противоречий между достигнутым техническим уровнем и перспективами концентрации и капиталистической системой хозяйства.

Во-первых, буржуазия начинает сильно опасаться по мотивам политического и социального порядка такой гигантской концентрации электрификации—этого центрального нерва народного хозяйства. Известно, что распоряжающийся у пульта такой системы электроцентралей фактически властвует над жизнью основных хозяйственных центров, присоединенных к этой системе. „Мановением руки" можно по существу парализовать жизнь огромного района.

Такая гигантская концентрация и централизация электрификации вызывают естественно тревогу и опасения буржуазии перед лицом резкого подъема в связи с кризисом волны социальных конфликтов и угрозы империалистических войн. „Ибо,—так пишет один из германских журналов, выступающий противником централизации и концентрации европейского электрохозяйства,—„ведь вся жизнь остановится, если этого захочет фактический руководитель электросистемы или тот, который его поставил (что, например, имело место в Греции во время мировой войны), или в период волнений (Unruen), когда легко могут быть разрушены питательные сети" [3]).

Здесь достаточно упомянуть также, что на последней энергетической конференции был заслушан даже специальный доклад представителя фашистской организации „Технише Нот-

[1]) Prof. Morguerr. „Stand und Enwicklungs anssichten der abfallkraftnutzung in Deutschland inbesondere Heiznrattwerke.

[2]) Сверхмощные агрегаты в 160 000 kWh в Нью-Йорке на станции Хелл Гэйт; „Охайо Пауэр К-о"; а 208 000 kWh в Чикаго на станции Сиейт-Ляйн. Сверхмощные электросистемы в Америке (Ниагара, Гудзон силов. К-о, Нью-Йорк Эдиссон К-о) с электробалансом в 4—6 млрд. kWh. В Европе—сверхмощные агрегаты в 100 000 kVA (на станции Гольна, в Германии) и сверхмощные электросистемы с электробалансом в 2. млрд. kWh (Рейнско-Вестфальская К-о).

[3]) „REA", декабрь 1930 г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

гильфе" на тему „О методах защиты энергетического хозяйства в период рабочих волнений и забастовок". Этот доклад привлек специальное внимание участников конференции.

Во-вторых, технический прогресс в области концентрации наталкивается на экономические границы, вытекающие из капиталистической системы хозяйства. Возьмем только для примера проблему резерва мощности, оставляя здесь в стороне другие не менее актуальные вопросы. При установке агрегата в 250—300 тыс. kWh необходимо иметь минимально такую же мощность в резерве, а это значит, что суммарная мощность всей силовой системы должна равняться 2—3 млн. kW, чтобы коэфициент резерва экономически оправдал себя (при установленной мощности, в 500 тыс. kWh минимальный необходимый резерв мощности, равный одному из наиболее мощных действующих агрегатов в 250 тыс. kW, составит коэфициент резерва в 50%; при установленной же мощности в $2^1/_2$ млн. kW, тот же резерв составит коэфициент резерва всего 10%).

Но концентрация таких гигантских мощностей упирается уже непосредственно в проблему народнохозяйственного планирования электрификации, которую бессилен разрешить капитализм.

Под непосредственными ударами кризиса, в связи с нарастанием опасности войны, резко усилились тенденции к энергетической автаркии (независимости), что вынуждена прямо признать специальная печать, что вынуждены были прямо признать с трибуны энергетического конгресса генеральные докладчики Адольф (XXIII секция) и Пауэр (IX секция) (см. об этом подробно нашем очерке в журнале „Электричество", № 16, 1931 г.).

Под непосредственными ударами кризиса, как никогда, резко обострилась в капиталистической электрификации проблема цен и издержек производства. Известно, что в период кризиса, с одной стороны, выступает проблема низких цен (в связи с проблемой сбыта), с другой, противодействующие тому факторы роста издержек производства, главным образом обусловленные недогрузкой производственного аппарата. Высокий органический состав капитала в электрическом хозяйстве, чрезвычайно высокий уровень монополизации, политик диференциальных цен на электроэнергию, в свою очередь, обостряют эту проблему. Ярким выражением обострения этих противоречий может служить приобретший мировую сенсацию так называемый инцидент в американской делегации на II Мировом конгрессе, в связи с выступлением американского посла Сейкта. Этот инцидент, вызвавший большую „литературу" в Европе и Америке, весьма поучителен для анализа этой проблемы (подробно об этом см. наш очерк в журнале „Электричество", № 15, 1931 г.). Не менее яркой иллюстрацией может служить в данном случае тот факт, что, несмотря на значительное снижение из месяца в месяц в связи с кризисом отпуска электроэнергии, доходы американских электрических компаний возросли, о чем говорят отчетные материалы, публикуемые в специальной американской периодике. Электрические магнаты ухищряются наживать прибыль и в условиях кризиса за счет широких слоев населения. Что это так—видно из того, что рост доходов был связан с сдвигами в самой структуре электробалансов. При абсолютном снижении удельного веса промышленной нагрузки в электробалансах САСШ, электрическим компаниям удалось значительно повысить всевозможными мероприятиями, преимущественно рекламного порядка, удельный вес бытовой и прочей мелкой нагрузки. Тариф же на электроэнергию последних значительно превышает тариф у крупных промышленных потребителей и именно за счет широких слоев населения, за счет мелких, потребителей и выросли доходы и прибыль электрических компаний.

Немало ярких фактов можно было бы еще привести для иллюстрации глубоко обострившихся под непосредственными ударами кризиса противоречий на всех участках капиталистической электрификации (проблема централизации электрических систем, проблема единой высоковольтной сети, проблема электрификации сельского хозяйства, транспорта и т. д.).

Поучительную главу из современного развития капиталистической электрификации представляют те многочисленные „планы" электрификации, которые за последние годы, как из рога изобилия посыпались в капиталистических странах (Англия, Германия, САСШ, Франция, Япония и т. д.).

Эти „планы" представляют собою, в известном смысле, классические документы, демонстрирующие в развернутом виде те социально-экономические противоречия между возможностями технического развития и монополистическим капитализмом, речь о которых шла выше. Эти „планы" по мысли идеологов капиталистической электрификации (в том числе и, главным образом, из лагеря социал-фашизма) якобы призваны вывести последнюю из кризиса на широкую дорогу расцвета и технического прогресса.

Известен глубочайший анализ Ленина проблемы „плановой электрификации" в капиталистических странах (см. в частности т. XX, гл. II, стр. 480, изд. 1927 г.):

„При сохранении власти капиталистов,—писал Ленин,—неизбежно, что электрификация не будет планомерной и быстрой, а поскольку она вообще будет, она будет новой кабалой для крестьян, ограбляемых финансовой олигархией".

„При капитализме электрификация неминуемо поведет к усилению гнета крупных банков и над рабочим классом и над крестьянами".

Конкретное рассмотрение этих „планов" с политической, экономической и технической точек зрения заслуживает специального внимания.

Здесь же для общей характеристики значимости этих „планов" достаточно привести краткие выдержки из оценки самой буржуазной печатью политики и нравов электрических концернов, т. е. творцов и проводников этих самых великих планов.

В мае 1930 г. в американском сенате президент Гувер в своем выступлении сочувственно отозвался о деятельности и „планах" электрических компаний страны. Однако не все сенаторы (в частности те, которые были независимы от электрических магнатов) были согласны с этим мнением Гувера и, судя по данным печати, в сенате развернулась большая „самокритика", которую возглавил сенатор Норис.

„Как он (президент) может назвать их (электрические компании) „славными учреждениями общественного благоустройства страны" (the great public utilities),—возмущался Норис, оперируя конкретными материалами и цифрами, — перед лицом того факта, который отмечен в протоколе федеральной комиссии по торговле, где указывается, что в течение целого ряда лет эти учреждения обманывали и грабили американский народ.

В каждом государстве они были погружены в политику, грязную, дискредитирующую политику, которая должна вызывать краску стыда на лице каждого патриота. Мне совсем не нравится, что наш президент называет их „славными учреждениями общественного благоустройства страны". Они никогда ничего не делали, а только набивали себе карманы и обманывали тот самый народ, который своими деньгами способствовал их благосостоянию".

И далее: „Мы не имеем",—говорит он,—„в стране дешевой энергии вследствие лживой, приводящей в заблуждение пропаганды, которую энергетический трест вел в каждом школьном округе, в каждом муниципалитете, в церквах, театрах, в клубах бойскаутов и женских клубах, отравляя умы наших граждан, особенно подрастающего поколения".

Или возьмем выступление (в конце 1931 г.) известного „оппозиционера", пенсильванского губернатора Пинчета (критические статьи последнего об электрификации САСШ советскому читателю уже известны из переведенной в свое время на русский язык работы американской Академии социальных наук под названием „Giant Power, экономическая и социальная роль электрификации", ГИЗ, 1927 г. с предисловием Г. М. Кржижановского).

„Опорой электропредприятий, снабжающих общество энергией",—пишет он,—в их наступлении на нашу американскую форму правления является целая фабрика политических подкупов, подпольный мир бомбометов, находящих себе покровителей и преступников высокого и низкого ранга" (the underworld the protected rucket and criminals of high and low deyres). К этому нечего добавить.

III.

В свете изложенного представляет интерес отметить недавно вышедшую в Америке книгу под громким многозначительным заголовком—„Американский ответ на русский вызов" (America's Answete the Russian Challenge).

Автор ее—проф. Роберт Сиблей, участник американской делегации на II Энергетическом конгрессе, который на обратном пути из Германии побывал и в СССР. Сообщение о выходе этой книги появилось в американской специальной печати под не менее любопытным заголовком „Электрификация задержит рост России".

„Электрификация является масштабом, с помощью которого может быть измерена реальность угрозы советской индустриализации",—таков первый тезис Сиблей. Это крайне любопытно: буржуазия начинает пристально изучать и следить за уровнем и динамикой энергетического перевооружения СССР, видя в этом один из решающих факторов социалистической индустриализации и перегона технического уровня передовых капиталистических стран.

Далее, Сиблей „с цифрами в руках" успокаивает американскую общественность. По его данным к концу пятилетки

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

(1933 г.). СССР будет иметь 26 млрд. kWh, а САСШ якобы не менее 134 млрд. kWh [1]). „Следовательно,—заключает он,—при успешном выполнении пятилетнего плана, советская Россия будет далека еще от того, чтобы перегнать Америку“.

Подробно к вопросам, затронутым в „Американском ответе на русский вызов“, придется вернуться в специальном очерке. Поэтому здесь мы ограничимся лишь краткими замечаниями.

Прежде всего Сиблей несколько оптимистически оценил „пятилетку“ электрификации САСШ (1928—1933 гг.). Он кривую электрификации САСШ за 1928—1933 гг. строит не по реальным данным, а почему-то на основе экстраполяции темпов 1926—1928 гг. И хотя книга Сиблей вышла в 1931 г., он ни слова о тех „поправках“, которые внес кризис в кривую американской электрификации, о чем речь шла выше. Мы уже знаем, что, например, в 1930 г. в Америке предполагается рост выработки электроэнергии станциями общего пользования САСШ на 10 млрд. kWh, а фактически имело место значительное абсолютное снижение. Мы знаем далее, что уже в 1931 г. производство электроэнергии САСШ было по абсолютным размерам ниже, чем в 1930, 1929, 1928 гг. Никаких „чудес“ как будто бы не предвидится и в 1932 г., как об этом пишет сама американская печать.

Таким образом предполагаемый Сиблей рост электробаланса САСШ за 5 лет (1928—1933 гг.) на 57 млрд. kWh является не более, как красивой экстраполяцией самого Сиблей. Имеются все основания утверждать, что 1932 г. отбросит электрификацию (по размерам производства электроэнергии) еще дальше назад, чем 1931 г.

Зато Сиблей, приводя цифры по СССР, обнаруживает полное непонимание фактов САСШ. В то время как отношение размера электробалансов САСШ и других капиталистических стран за последние годы, как известно, оставалось в основном стабильным, расстояние, отделяющее электробаланс САСШ от СССР, из года в год стремительно уменьшается.

Всего лишь в 1925/26 г. СССР по размерам электробаланса занимал 11-е место в мире. Даже Норвегия, Швеция и маленькая Швейцария по абсолютным размерам производства электрической энергии превосходили тогда СССР. В этом году САСШ произвели электроэнергии в 25 раз больше, чем СССР.

В 1932 г. СССР по размерам электробаланса уже продвигается в основном на 3-е место в мире и на 2-е в Европе (после Германии). Расстояние, отделяющее СССР от САСШ, с 25 сократится до 6. За один 1932 г. СССР по размерам производства электроэнергии пройдет путь—с 11 до 17 млрд. kWh, который САСШ прошли в течение около 6 лет. САСШ повысили производство электроэнергии на станциях общего пользования с 11 до 17 млрд. kWh за период 1911/12—1915/16 гг.).

[1]) Кстати заметим, что опубликованные в американской печати наметки плана электрификации проектируют для 1940 г. всего 169 106 kWh. Последняя цифра тоже, конечно „потолочная“.

В конце второй пятилетки [1]) СССР уже вплотную подойдет к абсолютному уровню электровооруженности САСШ.

Несомненно, с точки зрения абсолютных размеров электровооруженности мы еще пока значительно отстаем от САСШ, но и пройденный уже этап по пути догона и запроектированные темпы развития нашего хозяйства убедительно свидетельствуют о том, что Советская страна и на этом важном участке производительных сил,—на участке электрификации,—выполнит директиву т. Сталина: „в кратчайший исторический срок догнать и перегнать в технико-экономическом отношении передовые капиталистические страны“.

И еще одна „мелочь“, которую упустил из вида Сиблей: качество социалистической электрификации глубоко принципиально отлично от капиталистической.

Первая пятилетка уже выявила огромные несравнимые преимущества социалистической электрификации перед капиталистической. По ряду решающих качественных показателей СССР уже опередил передовые в технико-экономическом отношении капиталистические страны.

Там мы имеем резкое обострение непримиримых противоречий между техническим уровнем электрификации и социальной экономической оболочкой монополистического капитализма: здесь, в СССР,—развертывание электрификации на базе единой социалистической плановой системы. Там—усиление неравномерности развития; здесь—форсированный процесс технической реконструкции всех звеньев народного хозяйства, общий под'ем их с того примитивного уровня, который достался в наследство Октябрю. Там—чрезвычайное усиление загнивания технического прогресса; здесь—широчайший простор для него.

Об этих полярных процессах красноречиво говорят беспристрастные материалы по энергетическому перевооружению СССР и капиталистических стран.

Перед Научно-исследовательским институтом техники и технической политики (в частности перед его секцией технической реконструкции и электрификации) в качестве одной из неотложных задач стоят вопросы конкретного изучения на основе марксистско-ленинской методологии всего процесса развития техники передовых капиталистических стран, на данном этапе всеобщего кризиса капитализма; стоит задача—научно вскрыть те возможности, которые сосредоточены в новейших достижениях мировой техники и не могут быть реализованы в капиталистическом хозяйстве и которые сможет реализовать только социалистическое хозяйство.

[1]) „Конференция считает безусловно необходимым добиться в 1937 г. производства электроэнергии не менее 100 млрд. kWh против 17 млрд. в 1932 г. (из резолюции XVII конференции ВКП(б) по докладам тт. Молотова и Куйбышева).

В странах капитала — катастрофическое падение производства, массовое свертывание и остановка фабрик и заводов, неслыханное разрушение производительных сил. В СССР—огромный и неуклонный рост производства, все более развертывающееся строительство фабрик, гигантских заводов, новых шахт и электростанций, недосягаемый для капитализма рост производительных сил.

(„Из резолюции XVII конференции ВКП(б) по докладам тт. Молотова и Куйбышева“).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

МАТЕРИАЛЫ К ГЕНПЛАНУ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Титульный список электрифицируемых железных дорог на период 1932—1937 гг.[1])

Титулы	Протяженность km	Примечание
I. Мурманская магистраль		
Мурманск-Кандалакша	277	
Кандалакша-Званка	1 051	В предполож. тепловозной тяги на линии Званка - Котельная (или Буй)
Званка-Ленинград	124	
Званка-Чудово	108	
II. Ленинград—горнопромышленный юг (Ростов)		
Ленинград-Москва	650	
Москва-Курск-Харьков	781	
Харьков-Александровск	326	
Харьков-Красный Лиман	177	
Красный Лиман-Иловайская-Ростов	339	
Москва-Рязань-Ростов	1 240	
III. Кривой Рог-Донбасс-Сталинград		
Долгинцево-Запорожье	175	
Запорожье-Чаплино	100	Новая линия
Долгинцево-Пятихатка-Чаплино	325	»
Чаплино-Ясиноватая-Дебальцево	212	
Дебальцево-Зверево	155	
Лихая-(Зверево)-Сталинград	381	
IV. Кавказ		
Ростов-Прохладная-Моздок-Гудермес	773	
Прохладная-Грозный-Гудермес-Махач-Кала	350	
Махач-Кала-Баку	375	
Тихорецкая-Новороссийск	271	
Армавир-Туапсе	236	
Туапсе-Краснодар	134	Новая линия
Перевальная-Кавказская	200	»
Баку-Акстафа	441	
Акстафа-Навтлуг	88	
Навтлуг-Сталинск	127	
Сталинск-Зеатафони	63	
Зеатафони-Самтреди	61	
Самтреди-Батум	106	
Навтлуг-Ленинакан	213	
V. Москва-Нижний Новгород-Урал		
Москва-Нижний Новгород	440	
Нижний Новгород-Шемохзан	440	Новая линия
Шемохзан-Свердловск	767	
Кундык-Зеленый Дол-Казань	100	»
Казань-Уфа	500	»
VI. Южные порты-Урал		
Мариуполь-Таганрог-Миллерово	380	Новая линия
Миллерово-Саратов	590	»
Саратов-Анисовка	40	»
Анисовка-Уральск	412	
Уральск-Илецк	263	»
Илецк-Мартук	120	
Мартук-Халилово	120	»
Ершов-Пугачевск	94	
Пугачевск-Безенчук	137	»
Безенчук-Самара-Уфа	586	
VII. Орел-Саратов		
Орел-Грязи (Козлов)	309	
Козлов-Саратов	449	
VIII. Уральские горнозаводские		
Соликамск-Кизел	130	
Кизел-Чусовская-Калина	130	
Чусовская-Нижний Тагил-Свердловск	373	
Пермь-Калинс	115	
Кизел-Бисер	120	Новая линия
IX. Восточно-Уральская магистраль		
Свердловск-Челябинск	247	
Киштым-Миас	100	Новая линия
Миас-Магнитная	230	»
Магнитная-Баймак-Халилово	320	Вариант Полетаево-Троицк-Карталы-Орох
X. Сибирская магистраль (Урал-Кузбасс)		
Свердловск-Курган	360	
Уфа-Челябинск	480	
Челябинск-Курган	257	
Курган-Новосибирск	1 165	
Новосибирск-Красноярск	762	
Новосибирск-Полысаево	295	Новая линия
XI. Кузбасс		
Полысаево-Кузнецк	164	
Топки-Полысаево	111	
Енисино-Топки	52	Новая линия
Топки-Кемерово	38	»
Кемерово-Анжерка	117	
Кузнецк-Барнаул	253	»
XII. Северо-Кавказская магистраль и выход на Южный Урал		
Уфа-Магнитная	365	Новая линия
Магнитная-Карталы	146	
Карталы-Акмолинск	840	Новая линия
Халилово-Орск	47	
Орск-Семиозерный	400	Новая линия
Акмолинск-Караганда	233	»
Караганда-Семипалатинск	700	Нов. лин. Вар. Акмолинск Павлодар-Барнаул
Семипалатинск-Барнаул	426	
Итого	24 572	В том числе 18 653 km сущ. лин., 6 919 km нов. лин.
XIII. Беститульные фонды грузового движения		
Московск. узел и пригор. участки	1 200	В том числе Москва-Волово и Московское кольцо
Донбасс	500	
Кавказ	200	
Кузбасс	300	
Урал	500	
Средняя Азия	300	
Итого	3 000	
XIV. Пригородное пассажирское и курортное движение		
Москва	300	
Ленинград	200	
Харьков	100	
Свердловск	100	
Крым	100	
Кавказ	300	
Общий фонд	900	
Итого	2 000	
Всего	29 572	

[1]) Принят транспортной секцией Оргкомитета по генплану электрификации.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Мингечаурская проблема—мощный рычаг социалистической реконструкции народного хозяйства ЗСФСР

И. Риза-Заде и М. Мамед-Кулизаде.

Совершенно очевидно огромное значение использования свободной водной энергии для социалистической реконструкции народного хозяйства нашей страны и, в частности, для коллективизации сельского хозяйства.

Перед нами встают все новые и новые проблемы, наиболее эффективного использования огромных природных богатств, сосредоточенных в бассейнах рек Закавказья и имеющих всесоюзное значение.

Весьма благоприятные комплексные условия утилизации водных сил этого края, с его богатейшими водноэнергетическими ресурсами, позволяют разрешить ряд крупных задач социалистического строительства.

Для Закавказья характерны громадные запасы влаги в виде вечных снегов на вершинах гор и подходящий рельеф местности в смысле падения рек.

Задача использования водных ресурсов Закавказья имеет две важнейших стороны—гидроэнергетическую и ирригационно-мелиоративную. Бурный рост союзной и закавказской промышленности настоятельно требует использования всех возможностей для достижения решительного перелома в области развития технических культур ЗСФСР, из которых важнейшим в данное время является хлопок.

Эту огромную задачу социалистической перестройки народного хозяйства Закавказья разрешает почти целиком проблема Мингечаура.

Естественного стока Куры для потребностей орошения недостаточно, и мингечаурское водохранилище является ключом к использованию больших количеств избыточных вод этой реки в Ширванской, Мильской и Муганской степях. Мингечаурская проблема должна явиться основным водохозяйственным об'ектом второй пятилетки. Мингечаурское водохранилище, емкостью нетто в 11 млрд. m^3, образуется путем сооружения колоссальной земляной дамбы, высотой 67 m в узком проходе хребта Боздаг в месте прохождения Куры у начала Азербайджанской низменности, где имеется весьма выгодный в топографическом отношении участок.

Впервые этот участок Куры был осмотрен в 1925 г. специальной комиссией, с участием германского профессора Людина, установившей высоту плотины в 25 m. Дальнейшее исследование этого узла комиссией СТО в 1928/29 г. и ряд дополнительных изысканий и исследований, произведенных в 1930/31 г. Закводхозом с привлечением иностранной консультации (американские специалисты А. Девис, Ольберг, Бимер и итальянская экспертиза—инж. Омедес) выяснили возможность сооружения плотины более значительной высоты, увеличивая тем самым общую эффективность сооружения.

Основной задачей проблемы Мингечаура является ирригация. Нужда в орошаемой воде на плодородных массивах Закавказья велика. Разрешение данной проблемы коренным образом решает вопрос создания второго мощного хлопкового центра Союза площадью 1,8 млн. ha, на которых 1 млн. можно засеять ценнейшими сортами египетского хлопка.

Прирост поливных площадей с самотечным орошением на базе Мингечаурского водохранилища достигает по данным Закводхоза по Ширванской и Мильской степям цифры порядка 1 млн. ha. Может быть орошена вся Ширванская, Карабахская, Муганская и Мильская степи, за исключением 150 000 ha Мильской степи.

Далее Мингечаурское водохранилище одновременно разрешает проблему энергетики: гидростанция сможет дать 200 000 HP.

Вопрос использования гидравлической энергии в Закавказье становится весьма важным для развития ряда крупнейших производств, где вопрос о стоимости энергии является решающим.

Наличие в Закавказьи больших ресурсов сырья (дашкесанский железняк, загликский улунит) даст возможность освоить электроэнергию близлежащих станций на месте, без необходимости особо значительных перебросок его из одного района в другой. По наметке второй пятилетки один только Ганджинский район в 1935 г. потребует до 800 млн. kWh на шинах у потребителей, при установленной мощности 105 000 kV. Поэтому наличие Мингечаурской ГЭС мощностью до 200 000 HP, с годовой выработкой около 1,2—1,3 млрд. kWh электроэнергии, даст возможность удовлетворить близлежащего потребителя и разрешить актуальнейший вопрос экономии бакинской нефти передачей в Баку солидной части бакинской нагрузки в виде гидроэнергии.

В этом отношении, для сравнительно бедного гидроэлектрическими ресурсами Азербайджана, Мингечаур представляет исключительную ценность, являясь мощным энергетическим источником. Для сравнения можем отметить, что предполагаемые к строительству с начала 1932 г. Карасахкальская ГЭС может дать только 0,35—0,4 млрд. kWh, Тертерская ГЭС также около 0,35 млрд. kWh и вся Севано-Зазгинская система от 1,7 до 2 млрд. kWh.

Следующим важнейшим значением Мингечаурского водохранилища является устранение наводнения по Куре. Поглощая весь весенний паводок, устройство водохранилища кардинально разрешает вопрос о наводнениях по среднему и нижнему течению Куры. Давая экономию ежегодных затрат на обвалование и убытки от происходящих почти ежегодно прорывов и затоплений, водохранилище понизит грунтовые воды, и в результате этого значительно оздоровится в смысле малярии вся нижележащая прикуринская полоса.

Наконец, после сооружения Мингечаурской плотины значительно улучшатся условия судоходства в верхней части Куры.

Несмотря на чрезвычайную сложность сооружения Мингечаурского водохранилища со столь высокой плотиной, при сравнительно неблагоприятных геологических условиях, осуществление этой проблемы вполне технически осуществимо.

Высокое развитие техники механизации современного строительства доводит до минимума время сооружения. Успехи научно-исследовательской работы по грунтам и гидрогеологии дают основание полагать, что осуществление мингечаурской плотины является вполне возможным.

Грандиозность перспектив мингечаурской проблемы и ее удельный вес в социалистической реконструкции народного хозяйства Закавказья должны обратить на себя внимание всей партийно-советской общественности нашего Союза для успешного разрешения этой крупной народнохозяйственной задачи.

Невзирая на грандиозность проблемы, в настоящее время этому вопросу со стороны некоторых учреждений не уделяется должного внимания. Закгидроэлектрострой по сей день не использовал отпущенных 200 000 руб. на изыскания по Мингечауру. Закводпроизу, которому поручены в данное время исследования по Мингечауру, в деле успешного разрешения столь важного вопроса надо добиться подлинно большевистских темпов.

Исходя из большого значения, которое может иметь разрешение мингечаурской проблемы для народного хозяйства Закавказья, при Совнаркоме ЗСФСР создан специальный комитет по изучению и разрешению всех вопросов, связанных с строительством мингечаурского водохранилища и по руководству разработкой проблемы строительства (Закавказский мингечаурский комитет). В Мингечаурский комитет входят представители от заинтересованных учреждений и ведомств и, кроме того, ряд крупнейших специалистов Союза.

Опираясь на научные силы, организуя и развертывая научно-исследовательскую работу путем широкой мобилизации всех работников труда и науки, необходимо приложить все усилия к тому, чтобы успешно разрешить проблему Мингечаура.

„Быстрый рост социалистического хозяйства в период второй пятилетки в национальных республиках и областях обусловливает изживание экономической и культурной отсталости национальностей, унаследованной от царского колониально-капиталистического режима.

(Из резолюции XVII конференции ВКП(б) по докладам т.т. Молотова и Куйбышева)

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

К ИТОГАМ СЪЕЗДА ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ

Социалистическому энергохозяйству—высокую базу измерительной техники

I Всесоюзный с'езд по контрольно-измерительным приборам в энергохозяйстве

А. Талицкий, А. Михайлов

В конце 1931 г. в Москве состоялся I Всесоюзный с'езд по контрольно-измерительным приборам в энергохозяйстве. На с'езд прибыло 1 010 делегатов, из них москвичей—476 и иногородних—534. Основную массу делегатов составляли инженеры и техники.

Работа с'езда была разбита по секциям: 1) общеорганизационных вопросов, 2) методики, учета и научно-исследовательской, 3) научно-конструкторской, 4) монтажа и эксплоатации приборов, 5) реле и автоматов.

В докладах была освещена деятельность наших крупных производственных организаций (ВОТИ, ВЭО, ВЭСО), научно-исследовательских учреждений (ГФТИ, ВЭИ, ВТИ, ЦАГИ и др.), Всесоюзного комитета по стандартизации при Госплане РСФСР, Электротока, МОГЭС, ряда электростанций, заводов и втузов.

В Бюро с'езда было представлено в общем около 80 докладов.

Во время с'езда функционировала выставка приборов-образцов союзного производства.

Созыв с'езда отвечал остро назревшей необходимости мобилизовать внимание рабочей общественности, хозяйственников и инженерно-технических работников всего народного хозяйства, и в первую очередь его энергетического сектора, на вопросах измерительной техники.

Социалистический учет и хозрасчет в предприятиях немыслимы без правильно поставленного дела измерения основных факторов производства, особенно на участке энергетического хозяйства наших предприятий. Ликвидация обезлички в котельных, у турбоагрегатов и моторных установок, на распределительных щитах центральных электрических станций в цехах заводов и фабрик целиком должна опираться на точный учет расхода и выработки электрической энергии, пара, воды, на измерение производственных показателей работы отдельных бригад, смен и дежурных во всех точках сложного современного энергетического хозяйства. Точная измерительная техника должна вооружить социалистическое соревнование и ударничество правильно учитываемыми показателями и обеспечить успешность борьбы за экономию топлива во всех областях народного хозяйства. Выполнение исторических указаний т. Сталина о работе хозяйственников в новой обстановке, о хозрасчете и ликвидации обезлички требует постановки всего контрольно-измерительного дела в Союзе на огромную высоту. Измерительные приборы должны быть поставлены на службу социализму. В то время как измерительная техника за границей полностью подчинена задачам усиления капиталистической эксплоатации производительной силы общественного труда рабочих на предприятиях,—в Советском союзе развитие измерительного дела вскрывает новые резервы и возможности социалистического производства, повышая количество и качество продукции, улучшая благосостояние трудящихся.

С'езд отметил развитие советской научно-технической и конструкторской мысли, сумевшей в целом ряде вопросов конструкции приборов и методики измерения не только догнать, но и перегнать капиталистическую технику. С'езд отметил значительные успехи заводов приборостроения (Электроприбор, Термоприбор) и отдельных производственных единиц (мастерских).

В то же время с'езд констатировал глубокий разрыв между научно-техническими возможностями (опытом и накоплением результатов исследования, конструктивными разработками) и производственной базой приборостроения.

Необходимо принять срочные и решительные меры к пос ройке новых заводов. Особенно сильна нужда в завод точных электроизмерительных приборов и сложной аппар туры.

Производственной базой электроизмерительных прибор является в сущности лишь один завод „Электроприбор" ВЭС При всей своей интенсивной работе (созыв с'езда совп с моментом выполнения заводом пятилетки в 3 года) эт завод не в состоянии справиться с запросами бурно-растущ социалистической промышленности.

Наряду с электростанциями и заводами, крупными потр бителями в области приборов являются научно-исследовател ские учреждения и лаборатории втузов. Во многих случа разрешение крупных технических задач задерживается из- отсутствия электроизмерительных приборов и аппарат Сплошь и рядом выписываются из-за границы в значительн степени ходовые приборы, которые с успехом можно изг товлять у нас.

Другим важным вопросом, на котором с'езд заострил св внимание, является вопрос подготовки кадров измерителей.

По линии ВЭО проделана работа в части укрепления расширения специализации при втузах по производст электроизмерительных приборов и аппаратов. Выпуще кадры работников, пополнившие завод „Электроприбор" научно-исследовательские лаборатории.

По линии же Энергоцентра наблюдается определенный пр рыв в том отношении, что инженеры-энергетики, инжене электрических станций и высоковольтники получают нед статочную подготовку в области измерительной техники.

Разительным примером отсутствия достаточного вниман к этому вопросу может служить недооценка электрическ измерений в МЭИ, где по ряду основных специальност программа по электрическим измерениям сведена к 40—30 ч (включая сюда теоретические дисциплины и лабораторн занятия). Правда, на специальностях ЦЭС и высокого напр жения удалось отстоять 60 часов, но и эта цифра недостаточ А ведь ясно, что измерительную технику инженеру по экспл атации нужно знать, во всяком случае, не в меньшей с пени, чем инженеру по конструкции приборов.

Из докладов представителей Комитета стандартизации вид что практика измерительного дела все время сталкивает с недостаточной подготовкой работников на местах в облас измерительной техники.

Довольно часто приходится встречаться с неправильны схемами включения счетчиков, измерительных трансформат ров, плохой оценкой приборов и правил пользования им В результате нередки конфликты между крупными учреж ниями (производителями и потребителями энергии), причин которых являются неправильные показания контрольных пр боров, приводящие к нарушению всех хозрасчетных предп сылок.

На с'езде были развернуты доклады по вопросам констру ции приборов для электрических измерений неэлектрическ величин, что для энергохозяйства приобретает сейчас весь актуальное значение.

Нужно приветствовать инициативу и большую рабо Энергокомитета ВСНХ по организации созыва и проведен работ с'езда. Нужно добиться, чтобы с не меньшей энерги были проведены в жизнь мероприятия, выдвинутые резол циями с'езда. Социалистическое хозяйство должно получи высокую базу электро- и теплоизмерительной техники.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

О подготовке специалистов по электрическим измерениям в электроэнергетическом хозяйстве[1]

В развитии электроэнергетической базы социалистического хозяйства нашего Союза, особенно сверхмощных электростанций, об'единенных линиями передач, питающими чрезвычайно развитые распределительные сети, всякого рода измерения, обеспечивающие экономичность и надежность работы установок, получают огромное значение. Эти измерения должны касаться всех отделов хозяйства как теплового, так и электрического. При современном развитии техники громадное большинство измерений производится при помощи электрических измерительных приборов.

Практика обслуживания электроэнергетических установок показывает, что основные измерения касаются: а) теплового хозяйства (измерение температур, анализ газов, давление пара и пр.), б) хозяйства учета электрической энергии и в) измерение электрических величин на станциях, подстанциях, в линиях передач и сетях как при нормальном, так и при аварийном режиме.

Все эти измерения требуют специальных приборов, и вопрос о развитии производства контрольно-измерительных приборов для электроэнергетического хозяйства, которое в настоящее время еще находится в зачаточном состоянии, становится весьма актуальным.

Полное отсутствие в настоящее время кадров специалистов-измерителей для электроэнергетических установок и для промышленных предприятий, изготовляющих контрольно-измерительные приборы, выдвигает со всей остротой вопрос о срочной необходимости организовать подготовку таких специалистов.

В соответствии с вышенамеченной установкой следует вести подготовку специалистов по двум нижеследующим уклонам: 1) электрические измерения в электроэнергетическом хозяйстве и 2) производство электрических контрольно-измерительных приборов.

Выпускаемые специалисты по первому уклону должны подготовляться для работы на крупных районных электростанциях, подстанциях в об'единениях электростанций (например, „Электроток", МОГЭС), а также проектирующих предприятиях (Энергострой).

Характер работы таких специалистов:

а) на станциях—монтаж, эксплоатация и ремонт контрольно-измерительных приборов и установок, связанных с теплосиловым хозяйством, измерение электрических величин на станциях, линиях передач и в сетях;

б) в лабораториях электростанций и их об'единений—ремонт, поверка и регулировка электрических счетчиков и электроизмерительных приборов;

в) в проектирующих организациях—проектирование новых контрольно-измерительных установок для электростанций.

Основой специальной подготовки должны являться теоретические дисциплины и связанное с ними производственное обучение, касающееся вопросов применения электроизмерительных приборов для теплосилового хозяйства электростанций, что может быть определено термином „электрические измерения неэлектрических величин". В данном случае имеется в виду как методика измерений, так и изучения конструкций приборов и установок, их эксплоатация, а также проектирование целых контрольно-измерительных установок.

Необходимой предпосылкой для углубленного изучения вышеуказанных вопросов является общая подготовка по теплосиловому хозяйству электростанций, включая как тепловую, так и электрическую часть, оттеняя при этом контроль режима работы электростанций с точки зрения ее экономичности и надежности.

Поскольку инженеру-измерителю придется иметь дело с контрольно-измерительными установками и приборами и неэлектрическими, необходимо обеспечить подготовку в этом направлении.

Не меньше внимания должно быть уделено подготовке по измерениям электрических величин в разрезе тех требований, которые обусловливаются работой электростанций, линий передач и электрических сетей.

Специалисты, оканчивающие по второму уклону, предназначаются для работы на заводах, изготовляющих электроизмерительные приборы и установки для теплосилового контроля в электроэнергетических предприятиях.

Характер работы таких специалистов:

а) работа по производству приборов в цехах, требующих специальной электротехнической подготовки;

б) в конструкторском бюро по расчетам, конструированию и проектированю приборов и установок;

в) в испытательных и исследовательских лабораториях, занятых вопросами, связанными с электрическими измерениями неэлектрических величин и разработкой новых типов приборов для этих измерений;

г) в проектирующих организациях по проектированию новых заводов.

Основой подготовки таких специалистов должны быть теоретические дисциплины и связанное с ними производственное обучение, касающееся: а) технологических процессов производства контрольно-измерительных приборов, б) конструкций и расчета приборов, включая проектирование и в) методов электрических измерений неэлектрических величин.

Как производственнику, так и конструктору-электрику неизбежно придется в достаточной мере сталкиваться с общими технологическими процессами производства отдельных деталей приборов, и соответствующая подготовка в области технологии металлов и механической технологии должна быть обеспечена.

Вопросы организации производства, его планирования, калькуляции отдельных производственных процессов, технического контроля применительно к данной отрасли производства должны быть в полной мере освоены выпускаемыми специалистами.

В настоящее время подготовка специалистов по электроизмерительным приборам и электрическим измерениям производится в единственном втузе в СССР, именно в Электромеханическом институте в Ленинграде, где имеется специализация „технология электроизмерительных приборов и электрические измерения". Подготовка специалистов ведется по двум уклонам: производственно-конструкторскому и лабораторно-исследовательскому. Оканчивающие специалисты по производственно-конструкторскому уклону предназначаются для работы на заводах, производящих электроизмерительные приборы („Электроприбор", ХЭМЗ) в тех цехах и отделах, которые требуют специальных электротехнических знаний (сборочных и регулировочных приборов и счетчиков, конструкторское бюро и др.).

Лабораторно-исследовательский уклон готовит специалистов для работы в заводских и научно-исследовательских лабораториях по электрическим и магнитным исследованиям материалов и полуфабрикатов, применяемых в производстве электроизмерительных приборов, исследованиям самих приборов, по разработке новых типов приборов и измерительных схем и установок, по разработке методики электрических и магнитных измерений в приложении к конкретным заданиям электропромышленности.

Для обеспечения надлежащей подготовки специалистов специализация уже в настоящее время имеет помимо общей электроизмерительной и магнитной лаборатории ряд специальных лабораторий, а именно: лаборатория по конструкциям электроизмерительных приборов, лаборатория по измерениям мощности и энергии в целях переменного тока, лаборатория магнитных измерений, высоковольтных измерений, сетевых и кабельных измерений, высококачественных измерений. В ближайшее время будут развернуты лаборатории: методов точных электрических измерений, электрических измерений неэлектрических величин.

Производственное обучение базируется на заводе „Электроприбор" и в электрических и магнитных лабораториях Всесоюзного института метрологии и стандартизации (б. Главная палата мер и весов).

Окончившие по электроизмерительной специальности в настоящее время работают на заводе „Электроприбор" как на производстве, так и в лабораториях, в Всесоюзном экспериментальном электротехническом институте (ВЭЭИ), Государственном физико-техническом институте (ГФТИ), Остехбюро, Всесоюзном институте метрологии и стандартизации (электрическая и магнитная лаборатории).

Контингент оканчивающих в настоящее время очень невелик, и лишь в незначительной степени удовлетворяется потребность предприятий в инженерах-электроизмерителях. Ежегодный прием одной академической группы (25 чел.) тем самым предопределяет и количественный выпуск инженеров, совершенно недостаточный и не соответствующий потребностям в инженерах-электроизмерителях даже для нужд одной только электроизмерительной промышленности.

Производство электроизмерительных приборов в СССР очень молодое, и единственный завод „Электроприбор" не может, конечно, удовлетворить спрос на электроизмерительные приборы, с каждым годом возрастающий в связи с громадным ростом электроэнергетических предприятий. Развер-

[1] Доклад Е. Г. Шрамкова (ЛЭМИ) на Всесоюзном с'езде по измерительным приборам.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

тывание этой отрасли производства в сильной степени тормозится из-за отсутствия достаточных кадров высококвалифицированных специалистов. Продукция одного только завода „Электроприбор" с 17,5 млн. руб. в 1930 г. увеличивается до 32 млн. руб. в 1932 г. По плану ВЭО к концу второй пятилетки общая продукция электроизмерительной промышленности должна составить 362 млн. руб., учитывая постройку новых заводов.

Обеспечение этих заводов кадрами специалистов, совершенно недостаточное в настоящее время, является весьма серьезной задачей.

К этому необходимо добавить пополнение кадрами специалистов электроизмерителей научно-исследовательских институтов, потребности которых в настоящее время почти не удовлетворяются.

Серьезность вопроса подготовки специалистов-электроизмерителей в настоящее время оценивается не всеми руководящими органами. В прошлом году при разверстке нового осеннего приема отделом кадров ВСНХ на электроизмерите ную специализацию не выделено ни одной группы. Неизб ным следствием этого явится в дальнейшем перерыв в г готовке специалистов-электроизмерителей.

Необходимо в этом же году исправить допущенную оши и принять все возможные меры для развертывания электрс мерительной специализации.

Электроизмерительная специализация Электромеханическ института может служить базой для подготовки специалис по контрольно-измерительным приборам. Соответствуюі уклоны при этой специализации наиболее целесообразно ! решают вопрос, так как имеющиеся специальные электрс мерительные лаборатории, базы производственного обучен а также педагогический персонал могут быть в значитель степени использованы для этой цели, тем более, что в Эл тромеханическом институте сосредоточены все электроэнер тические специальности.

Измерительное дело в энергохозяйстве—на высшую ступень [1])

(По докладам: 1) Л. И. Логинова и Б. Е. Гринман-Зеленова (ВОТИ) „Состояние и пути советского приборостроения и контро но-измерительных приборов"; 2) М. Л. Цукермана (ВЭСО) „Состояние производства и пути развития техники измерительн приборов в об'единении ВЭСО")

1. Отмечая значительные успехи советской научной технической мысли, сумевшей на некоторых участках приборостроения не только догнать, но и перегнать технику капиталистических стран, а также успехи заводов ВОТИ и ВЭСО в области выпуска новых типов приборов, ранее ввозившихся из-за границы, с'езд констатирует глубочайший разрыв между научно-техническими возможностями и производственной базой приборостроения СССР, удовлетворяющей ничтожную часть потребности страны в приборах. С'езд обращает внимание ВСНХ на необходимость немедленного усиления новостроек и расширения существующих приборостроительных заводов.

2. Для успешного ведения производства, поднятия технического уровня и качества измерительных приборов необходимо заводам поставщикам, снабжающим приборостроительные заводы сырьем и полуфабрикатами, обеспечить высокое качество своей продукции.

3. Рекомендуя внедрение пластмасс в приборостроение, которые должны быть использованы возможно эффективнее для замены металла и других более дорогих и трудоемких материалов, с'езд с удовлетворением отмечает успехи в применении этого существенного сырья отдельными заводами ВОТИ и ВЭСО, рекомендуя более быстрое их внедрение на другие заводы приборостроения.

4. Имея в виду, что контрольно-измерительные приборы являются необходимыми для рационального ведения производственных процессов, экономного расходования сырья и топлива, снижение брака и поднятия качества продукции всей промышленности СССР в целом, с'езд ходатайствует перед ВСНХ о признании приборостроительных строек сверхударными и считает нужным приравнять текущее снабжение приборостроительных заводов к снабжению строек.

5. С'езд поручает своему бюро принять все меры к выработке типовой номенклатуры контрольно-измерительных установок, гарантирующих нормальный ход производства и вместе с тем избавляющих СССР от излишнего расходования валюты на дорогостоящие приборы, зачастую ненужные в повседн ной производственной жизни.

6. В целях обеспечения нефтяной промышленности, энер хозяйства и других отраслей автоматами с'езд считает необ димым просить ВОТИ о немедленном приступе к проекти ванию производства автоматов, исходя из потребностей п мышленности в этих приборах.

7. С'езд считает необходимым форсировать строительс завода сложной аппаратуры ВЭСО так, чтобы завод на давать продукцию в возможно наикратчайший срок.

8. С'езд обращает внимание, что наряду с контрольно-из рительными установками контроль теплосилового хозяйс требует обеспечения соответствующих учебных и науч исследовательских лабораторий достаточным количеством п боров (калориметры, приборы Абеля и Мартенс-Иенско вискозиметры Энглера и др.), лабораторной тонкостенной суды и прочего лабораторного оборудования.

9. С'езд поручает своему бюро на базе установленной менклатуры контрольно-измерительной аппаратуры прин меры к плановому распределению задач приборостроен между производящими и научно-исследовательскими ор низациями.

10. С'езд приветствует организацию Всесоюзного об'еди ния точной индустрии и, одобряя в основном внедрение вых номенклатур, принятых к производству на заводах ВОТ все же считает намеченные ВОТИ темпы развития прибо строения недостаточными и предлагает ВОТИ форсирова развитие производства ряда новых типов, расширяя как менклатуру, так и количественный выпуск приборов.

11. Для наиболее эффективной проработки новых при ров и технологических процессов приборостроения с'езд с тает необходимым усилить отраслевую научно-исследовате скую работу и поддерживает начинания ВОТИ в организац научно-технического института, считая необходимым дальне шее развитие научно-исследовательской лаборатории ВЭС

ЗА РАЦИОНАЛИЗАЦИЮ В ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕ

Поставить учет реактивной энергии

А. С. Касаткин [2])

В социалистической реконструкции энергетического хозяйства одним из эффективных мероприятий по рациональному и наиболее полному использованию установленной мощности наших электрических станций является решительная борьба за снижение потерь от реактивной энергии,—за улучшение cos φ. Стремясь стимулировать рационализацию электрических установок своих потребителей, главным образом, промышленных предприятий, ряд станций уже ввел особый тариф с оплатой отпущенной энергии в зависимости от cos φ потребителя. Однако проведение в жизнь такого тарифа часто оказывается невозможным из-за отсутствия соответствующих специальных счетчиков.

Задача настоящей статьи—познакомить с основными принципами построения счетчиков реактивной энергии, позволяющими легко ориентироваться в любых сложных схемах назва ных счетчиков; в конце статьи даны указания, как приспос бить для учета реактивной энергии обычные счетчик в частности, однофазные счетчики советского производства.

В большинстве случаев, при тарифе с оплатой за коэфиц ент мощности для расчетов используются данные учета т называемой реактивной энергии:

$$A_p = \int E \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot dt.$$

Эта величина определяется по показаниям счетчика реакти ной энергии (счетчика реактивных киловатт-часов). В завис мости от построения тарифа либо потребитель оплачивает р активные киловатт-часы в размере некоторой доли оплаты активный киловатт-час (15—20%), либо, что целесообразне но несколько сложнее, стоимость активного киловатт-ча определяется в зависимости от среднего cos φ у потребител за отчетный период, а этот cos φ определяется по показания

[1]) Резолюция Всесоюзного с'езда по измерительным приборам.
[2]) Комитет по стандартизации РСФСР.

Воронежская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

счетчика активной энергии A и счетчика реактивной энергии A_p следующим образом:

$$\cos\varphi = \frac{A}{\sqrt{A^2 + A_p^2}}.$$

Чтобы нагляднее представить себе принцип устройства счетчика реактивной энергии, припомним упрощенную рабочую диаграмму обычного индукционного счетчика (рис. 1).

Вращающий момент, действующий на подвижную систему счетчика, создается двумя переменными магнитными потоками: потоком напряженческой системы $\Phi_E = K_1 E$ и потоком тока от тока, вызванного гистерезисом и токами Фуко в магнитопроводе токовой системы[1]); благодаря такому сдвигу вращающий момент счетчика

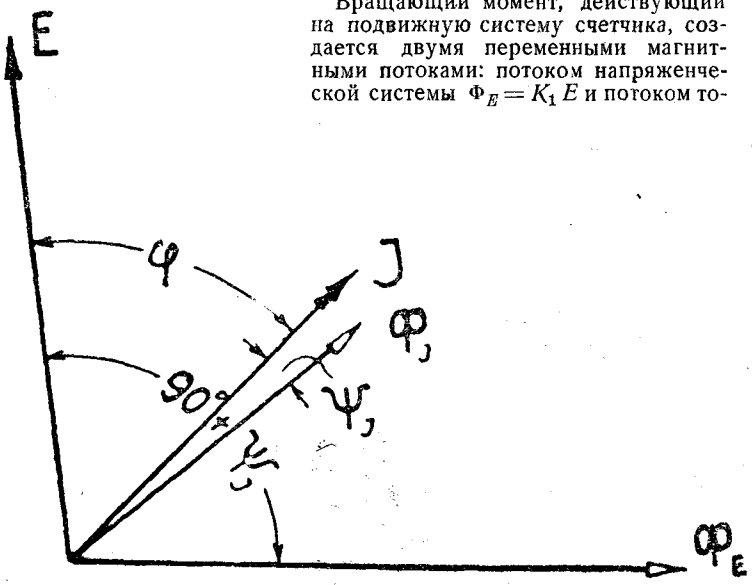


Рис. 1

ковой системы $\Phi_I = K_2 \cdot I$ (индексом K здесь и в дальнейшем обозначены коэфициенты пропорциональности).

Вращающий момент, создаваемый индукционной системой в целом,

$$M_{вр} = K_3 \cdot \Phi_I \cdot \Phi_E \cdot \sin(\Phi_I, \Phi_E).$$

Как известно, в счетчике активной энергии имеется ряд приспособлений (магнитный шунт, короткозамкнутые витки) для того, чтобы $\sin(\Phi_I, \Phi_E) = \cos\varphi$. Указанное условие осуществляется посредством сдвига фаз между E и Φ_E, равного $\measuredangle(E, \Phi_E) = 90° + \psi_I$ (ψ_I—угол отставания фазы токового по-

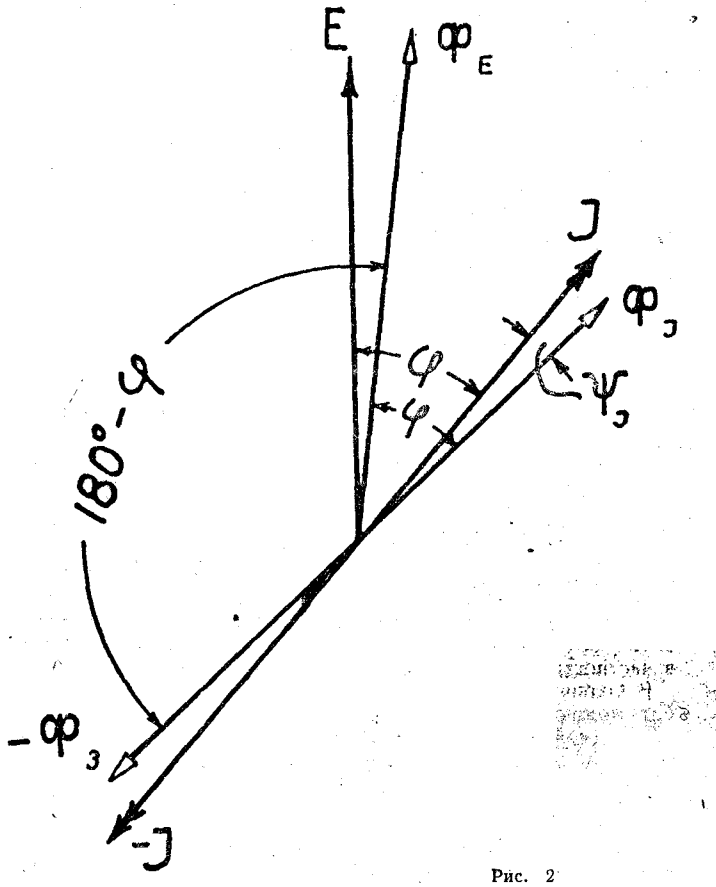


Рис. 2

$$M_{вр} = K_{вр} \cdot I \cdot E \cdot \sin(\Phi_I, \Phi_E) = K_{вр} \cdot I \cdot E \cdot \sin(90° - \varphi) = K_{вр} \cdot I \cdot E \cos\varphi,$$

т. е. вращающий момент счетчика пропорционален мощности, а число оборотов пропорционально работе переменного тока.

В счетчике реактивной энергии нужно иметь вращающий момент, пропорциональный реактивной мощности:

$$P_p = I \cdot E \cdot \sin\varphi = K_4 \cdot \Phi_I \cdot \Phi_E \cdot \sin\varphi;$$

очевидно, для осуществления этого требования нужна соответствующая регулировка сдвига фаз магнитных потоков. Выясним, какова должна быть эта регулировка.

В однофазном счетчике активной энергии $\sin(\Phi_I, \Phi_E)$ не меняет своего знака как при индуктивной, так и при емкостной нагрузке—Φ_I всегда опережает Φ_E. Благодаря этому вращающий момент сохраняет всегда положительное значение и диск счетчика вращается неизменно в „положительную" сторону. Если для приспособления индукционного счетчика к учету реактивной энергии отрегулировать его так, чтобы $\measuredangle(E, \Phi_E) = \psi_I$, то при индуктивной нагрузке угол сдвига между потоками будет по величине равен φ, но отрицателен по знаку, так как при таких условиях Φ_E опережает Φ_I; синус этого угла также отрицателен, и в результате диск счетчика вращается в „отрицательную" сторону. Счетчик реактивной энергии с $\measuredangle(\Phi_E, \Phi_I) = \varphi$ нужен для емкостной нагрузки, так как в этом случае Φ_I будет опережать Φ_E на φ.

В счетчике реактивной энергии для индуктивной нагрузки необходимо, чтобы Φ_I опережал Φ_E на $180° - \varphi$. При таком условии вращающий момент счетчика будет:

$$M_{вр} = K_{вр} \cdot I \cdot E \cdot \sin(\Phi_I, \Phi_E) = K_{вр} \cdot I \cdot E \cdot \sin(180° - \varphi) = K_{вр} \cdot I \cdot E \cdot \sin\varphi.$$

В индукционном счетчике активной энергии $\measuredangle(\Phi_I, \Phi_E) = 90° - \varphi$. Следовательно, чтобы увеличить этот угол до $\measuredangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$ нужно дополнительно „раздвинуть" векторы потоков на 90°. Этого можно достигнуть, воздействуя на обе цепи, т. е. сдвигая Φ_I и Φ_E, или воздействуя лишь на цепь напряжения и сдвигая только Φ_E. Следует заметить, что по отношению к системе счетчика вектор можно весьма просто повернуть на 180°. Для этого достаточно поменять местами концы соответствующей цепи, как указано на рис. 2.

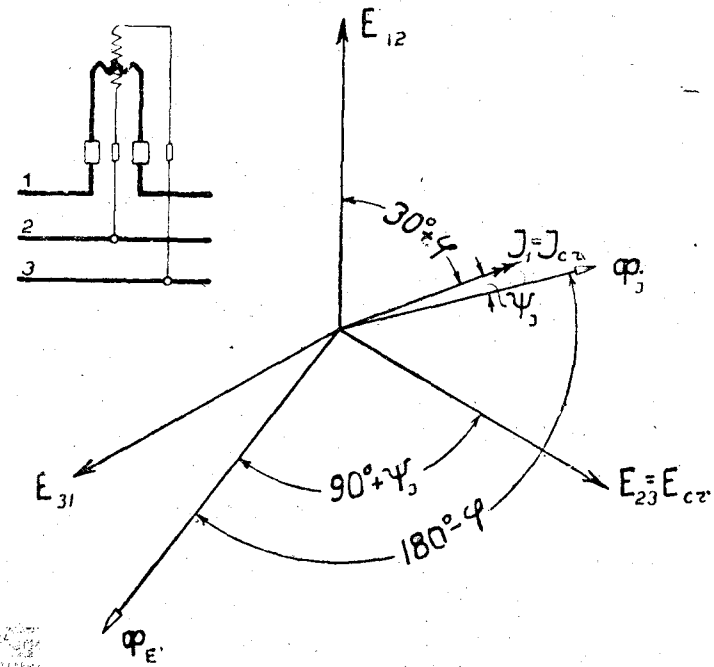


Рис. 3

Счетчик отрегулирован так, чтобы $\measuredangle(E, \Phi_E) = \psi_I$, а для получения $\measuredangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$ концы токовой катушки переключены, благодаря чему изменено направление вектора I по отношению к системе счетчика, именно вместо I дано направление—I_1, т. е. противоположное.

Счетчики реактивной энергии применяются исключительно в трехфазных сетях у крупных потребителей. При равномер-

[1]) Будем вести положительный счет углов против часовой стрелки от напряженного потока Φ_E к потоку Φ_I.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ной нагрузке фаз нужен счетчик с одной измерительной системой. При неравномерной нагрузке в сетях без нулевого провода применяется, главным образом, схема Арона и, следовательно, счетчик с двумя измерительными системами. Доказательство, что реактивная энергия может быть измерена по схеме Арона, сходно с доказательством названной схемы для активной энергии. В трехфазных сетях с нулевым проводом, в большинстве случаев, применяется счетчик с тремя измерительными системами.

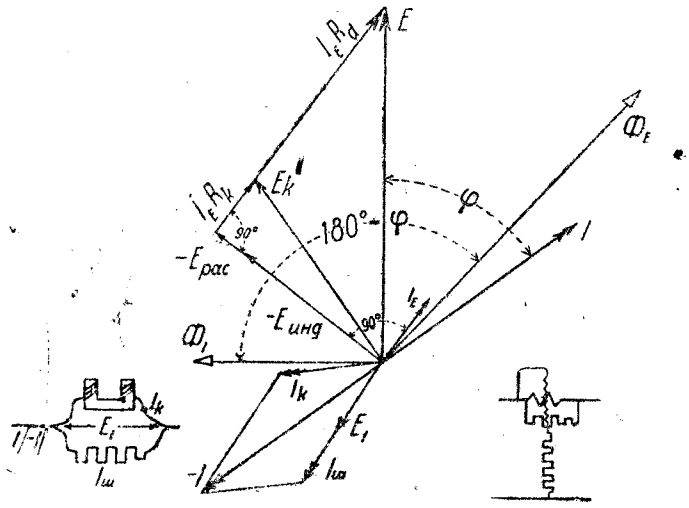


Рис. 4

Трехфазная система напряжений имеет обычно незначительную ассиметричность, а фазовые углы сдвига между отдельными напряжениями трехфазной системы—величина практически постоянная и строго определенная. Это обстоятельство позволяет значительно упростить задачу дополнительного поворота Φ_E на 90° для получения $\sphericalangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$. Простейшим примером такого использования правильности трехфазной системы напряжений является счетчик реактивной энергии для равномерной нагрузки фаз; его схема включения и векторная диаграмма даны на рис. 3.

Обыкновенный однофазный счетчик активной энергии, включенный согласно этой схеме, будет учитывать величину:

$$\int E_{23} \cdot I_1 \cdot \sin(210° - 30° - \varphi) \cdot dt = \int E_{23} \cdot I_1 \cdot \sin(210° - 30° - \varphi) \cdot dt = \int E_л \cdot I_л \cdot \sin\varphi \cdot dt,$$

где $E_л$ и $I_л$—линейные напряжения и ток.

Так как при равномерной нагрузке фаз реактивная мощность трехфазной нагрузки выражается через линейные напряжения и ток (подобно активной мощности)

$$P \sqrt{3} \cdot E_л \cdot I_л \cdot \sin\varphi,$$

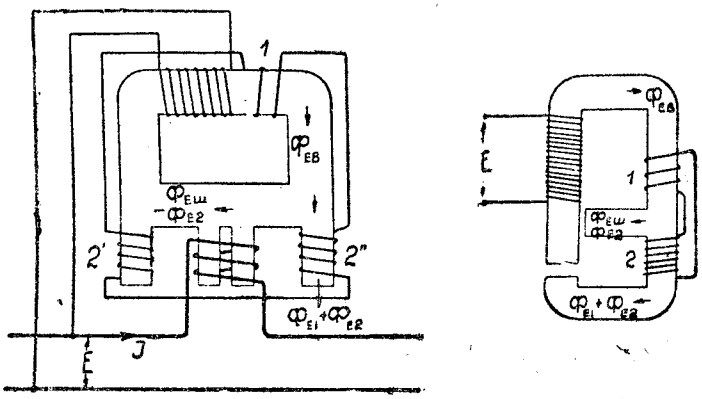


Рис. 5

то, следовательно, показания счетчика, умноженные на $\sqrt{3}$, равны величине потребления реактивной энергии трехфазной нагрузкой (мы не упоминаем здесь само собой разумеющееся умножение на коэфициенты трансформации измерительных трансформаторов).

При неравномерной нагрузке фаз в цепи без нулевого провода для учета реактивной энергии необходимы две измерительные системы, а в цепи с нулевым проводом обычно нужны три измерительные системы. Симметричность напряжения трехфазной цепи позволяет сильно упростить задачу дополнительного поворота Φ_E на 90° для осуществления условия счетчика реактивной энергии $\sphericalangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$. Это упрощение достигается посредством з а м е н ы напряжения E, по

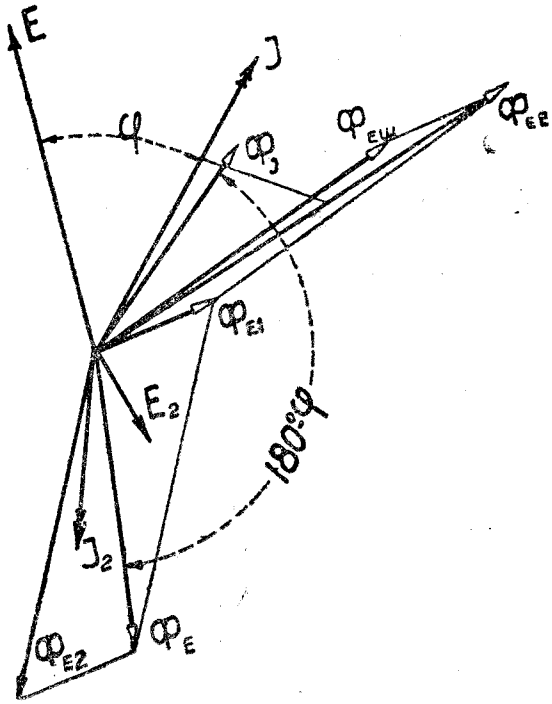


Рис. 6

которое должна быть включена цепь напряжения счетчика согласно схеме измерения, другим напряжением трехфазной цепи, равным или пропорциональным E, но составляющим с ним постоянный угол α. Подобная з а м е н а напряжения значительно упрощает конструктору задачу построения счет

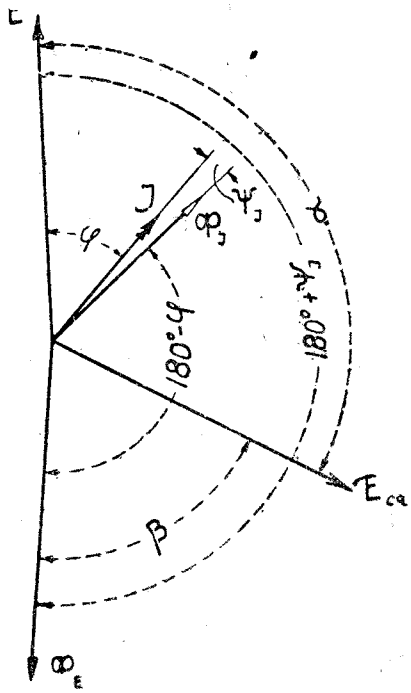


Рис. 7

чика реактивной энергии, но зато эта замена ухудшает измерительные качества счетчика и сильно усложняет его монтаж и поверку. В зависимости от способа осуществления условия сдвига потоков все счетчики реактивной энергии можно разделить на две группы: с ч е т ч и к и н о р м а л ь н о й с х е м о й и с ч е т ч и к и с з а м е н е н н ы м и н а п р я ж е н и я м и.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Трехфазные счетчики реактивной энергии с нормальной схемой включаются в сеть по такой же схеме, как и трехфазные счетчики активной энергии, и требуемые условия сдвига потоков в них осуществлены в самой измерительной системе счетчика. Счетчик с нормальной схемой состоит из двух или трех однофазных измерительных систем, причем в каждой системе $\measuredangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$. Поэтому для таких счетчиков достаточно рассмотреть устройство однофазной системы.

Существуют два технически удобных способа приспособления однофазной индукционной системы для измерения реактивной энергии.

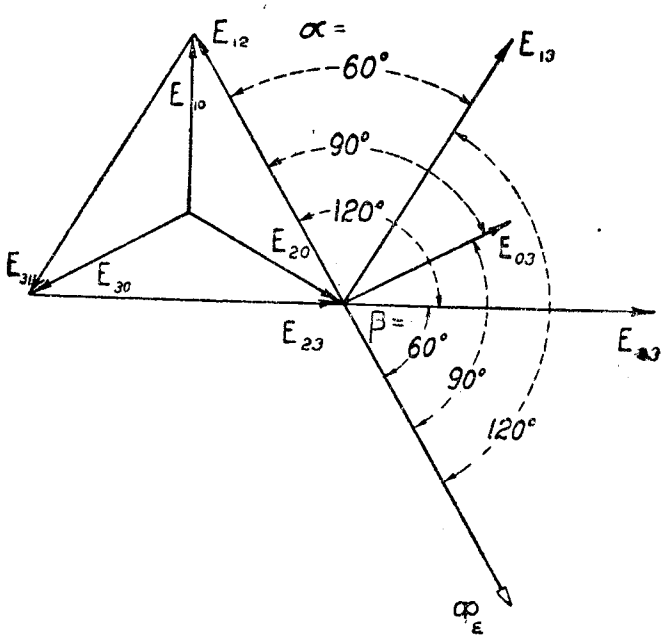


Рис. 8

Первый способ — „способ шунта"—заключается в следующем. Чтобы осуществить условие счетчика реактивной энергии, воздействуем на обе цепи: токовую и цепь напряжения. Переключаем концы токовой цепи, тем самым поворачивая вектор I на 180° по отношению к системе счетчика, и заменяем I через $-I$. Токовую катушку счетчика шунтируем безиндукционным сопротивлением. Теперь ток в катушке $I_к$ значительно отстает по фазе от I (рис. 4), благодаря чему мы получаем относительно большой угол сдвига между I и $\Phi_п$. Так как включение шунта сильно уменьшает ток в катушке счетчика, то, чтобы сохранить нормальную величину Φ_I, нужно значительно увеличить число витков токовой катушки.

Однако воздействие только на токовую цепь счетчика не может дать без чрезмерного усложнения схемы цепи нужную величину сдвига фазы между Φ_I и Φ_E.

Для получения недостающего сдвига нужно воздействовать и на цепь напряжения счетчика. Для этого последовательно с катушкой напряжения включаем большое безиндуктивное добавочное сопротивление $R_д$; благодаря последнему значительно уменьшается угол сдвига между напряжением на зажимах E и потоком напряжения Φ_E, как это видно из векторной диаграммы.

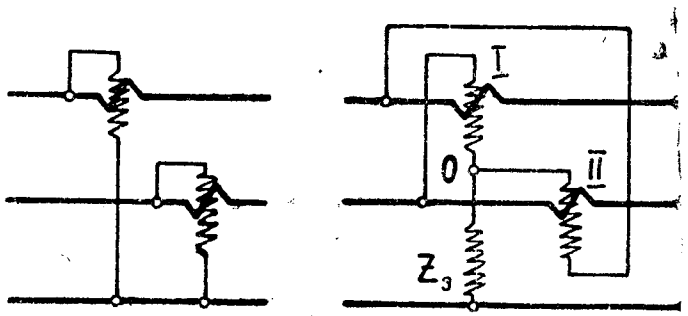


Рис. 9

Второй способ приспособления однофазной индукционной системы (способ короткозамкнутой обмотки) заключается в следующем.

На магнитопровод цепи напряжения счетчика надевается замкнутая на себя обмотка, состоящая из катушек *1* и *2* (рис. 5). Катушка *1*, с небольшим числом витков, надета на неразветвленную часть магнитопровода; катушка *2*, с значительно большим числом витков, надета на ту часть магнитопровода, через которую замыкается рабочая часть магнитного потока напряжения Φ_{E1}. На рис. 5 показано расположение катушек для двух различных конструкций магнитопровода. Весь магнитный поток цепи напряжения $\Phi_{Eв}$ индуктирует в катушке *1* небольшую э. д. с. E_2, отстающую от него на 90° (рис. 6). Последняя создает в замкнутой обмотке *1—2* ток I_2, в свою очередь отстающий от E_2 на некоторый угол, величина которого зависит от соотношения активных и реактивных сопротивлений в цепи замкнутой на себя обмотки. Ток E_2, проходя по катушке *2*, создает относительно большой магнитный поток Φ_{E2}, замыкающийся через диск счетчика. Магнитный поток катушки напряжения $\Phi_{Eв}$ делится на две части: большую $\Phi_{Eш}$, замыкающуюся через магнитный шунт,

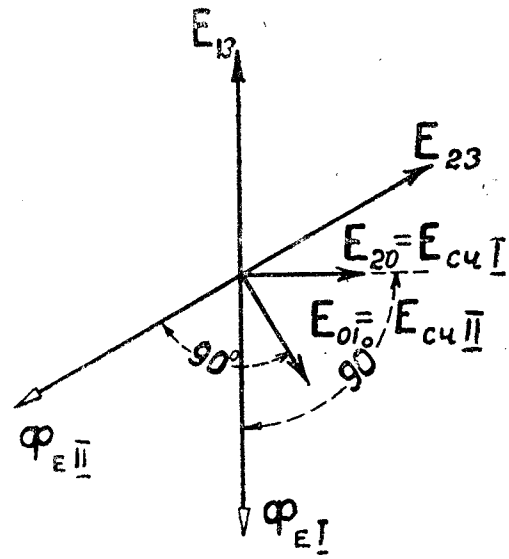


Рис. 10

и меньшую Φ_{E1}, замыкающуюся через диск счетчика. Следовательно, в диске счетчика система напряжений создает магнитный поток Φ_E, представляющий собой векторную сумму потоков Φ_{E1} и Φ_{E2}. Посредством регулировки Φ_{E2} легко установить поток Φ_E так, чтобы $\measuredangle(E, \Phi_E) = 180° + \psi_I$ и, следовательно, $\measuredangle(\Phi_I, \Phi_E) = 180° - \varphi$, что и требуется для счетчика реактивной энергии. В действительности явления несколько сложнее, чем описано выше, нами дана лишь основная схема. Способ короткозамкнутой обмотки применим далеко не ко всем системам счетчиков, у ряда счетчиков конструкция магнитопровода не позволяет поместить катушку *2*; в частности, это относится к однофазным счетчикам наших заводов.

Мы рассмотрели два наиболее целесообразных принципа устройства счетчиков реактивной энергии с нормальной схемой, теперь же мы обратимся к счетчикам с замененными напряжениями, предварительно отметив, что счетчики с нормальной схемой конструктивно значительно моложе счетчиков с замененными напряжениями.

Построение счетчика реактивной энергии трехфазного тока можно значительно упростить, заменив напряжение E, под которое согласно нормальной схеме должна быть

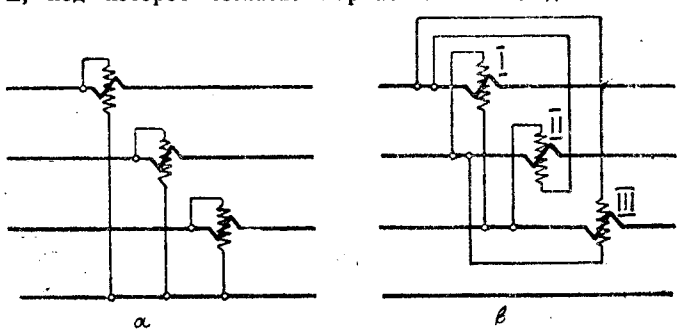


Рис. 11, *а*—нормальная схема, *b*—схема с замененными напряжениями

включена цепь напряжения счетчика, другим напряжением трехфазной системы, равным или пропорциональным E, но составляющим с ним постоянный фазовый угол α. Следовательно, в счетчике поток Φ_E создается не напряжением E, а напряжением $E_{сч}$ (рис. 7). В таких условиях Φ_E должно быть сдвинуто по отношению к $E_{сч}$ уже не на $180° + \psi_I$, а только

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

на $180° + \psi_I - \alpha = \beta$, что значительно упрощает задачу конструктора. Для сокращения письма пренебрежем в дальнейшем ψ_I—углом потерь в железе токовой цепи; тогда $\beta = 180° - \alpha$. Этот угол β, на который поток Φ_E должен отставать по фазе от напряжения $E_{сч}$, мы будем считать характеристикой данного способа замены напряжений в счетчике реактивной энергии трехфазного тока.

Как показывает векторная диаграмма рис. 8, в трехфазной цепи можно получить: α — 120°, α — 90°, α — 60°; β — 60°, β — 90°, β — 120°.

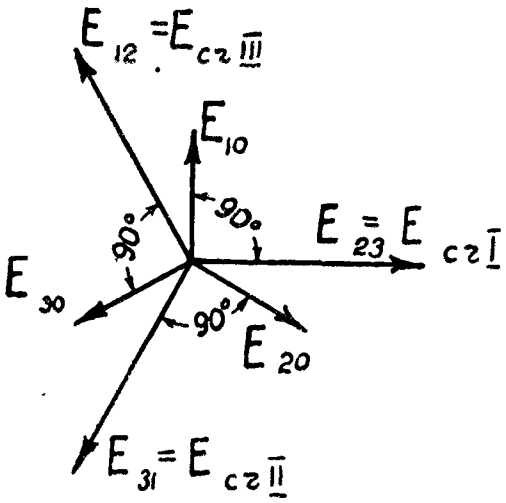


Рис. 12

На рис. 8 в качестве „нормального" напряжения принято E_{12}, причем заменяющими его напряжениями могут служить: E_{13} — при $\beta = 120°$, E_{03} — при $\beta = 90°$, E_{23} — при $\beta = 60°$.

В качестве примера подобных схем мы рассмотрим здесь только схемы с 90°-ным сдвигом в трех различных случаях их применения: для счетчика со схемой Арона, для счетчика с тремя измерительными системами и для счетчика с двумя измерительными системами, но с тремя токовыми цепями (схема Бергтольда).

Для получения $\beta = 90°$ у двухсистемного счетчика в трехфазной цепи без нулевого провода необходимо располагать фазовыми напряжениями. С этой целью в счетчиках создается искусственная нулевая точка. Последняя образуется при помощи дроссельной катушки, активное и реактивное сопротивления которой, конечно, должны быть равны соответствующим сопротивлениям цепи напряжения счетчика (рис. 9). Для большей наглядности на рис. 9 слева показана нормальная схема включения счетчика. Как видно по схеме, у первой измери-

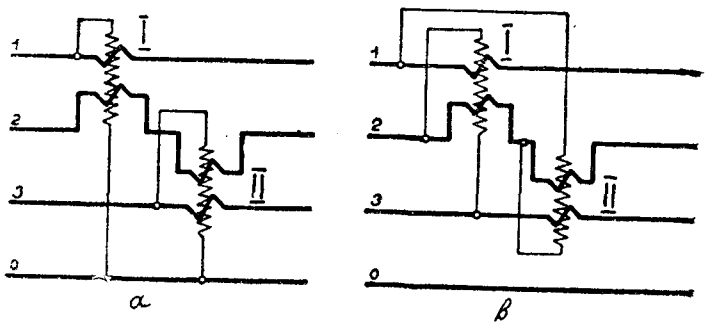


Рис. 13. *а*—нормальная схема, *b*—схема с замененными напряжениями

тельной системы счетчика напряжение E_{13} заменено фазовым напряжением E_{20}, причем начало цепи напряжения счетчика включено к проводу *2*, а конец—к искусственной нулевой точке; напряжение второй системы E_{23} заменено фазовым напряжением E_{01}, и конец цепи напряжения счетчика включен к проводу *1*, а начало—к нулевой точке. Векторная диаграмма напряжений счетчика дана на рис. 10. Так как в обычном индукционном счетчике активной энергии $\beta = 90°$, то приведенная схема представляет собой то преимущество, что она, кроме включения дроссельной катушки, не требует никаких переделок счетчика, если его цепь напряжения рассчитана на фазовое напряжение.

Схема 90° сдвига для счетчика с тремя измерительными системами показана на рис. 11, а на рис 12 дана векторная диаграмма счетчика. На основании вышеизложенного легко понять принцип этой схемы. В данном случае, в противоположность первому, фазовые напряжения нормальной схемы заменяются линейными. В том случае, если катушки счетчика рассчитаны на линейное напряжение, то и при этой схеме никакой специальной переделки счетчика не требуется. Так как в схеме нулевой провод не используется, то счетчик пригоден как для установок с нулевым проводом, так и для установок без нулевого провода.

Схема включения счетчика реактивной энергии с двумя измерительными системами и тремя токовыми цепями, как видно из рис. 13, относительно сложнее, но принципиально ничего нового собой не представляет. На рис 13 слева показана нормальная схема счетчика, хорошо известная многим электростанциям Союза по счетчику D_{24}, фирмы Бергман, справа же „замена" напряжений превратила этот же счетчик в счетчик реактивной энергии с $\beta = 90°$, пригодной как для четырехпроводной, так и для трехпроводной цепи трехфазного тока. Мы не будем здесь останавливаться на доказательстве

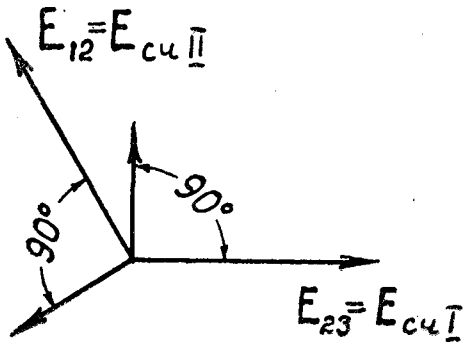


Рис. 14

правильности этой схемы для учета реактивной энергии. Доказательство это несложно и совершенно тождественно доказательству той же нормальной схемы для учета активной энергии. В заключение отметим только, что, как известно работникам электроизмерительного дела, счетчик этот и при нормальной схеме работает правильно лишь при строгой симметрии напряжений трехфазной цепи (рис. 14).

Из всего вышеизложенного нам уже ясны все основные принципы построения счетчиков реактивной энергии. Теперь посмотрим, чем мы можем воспользоваться для переделки счетчиков активной энергии в счетчики реактивной энергии. Идя по линии наименьшего сопротивления, мы можем применить к счетчикам активной энергии „замену" напряжений; особенно это просто в отношении схем с 90°-ным сдвигом, при котором счетчик с тремя системами совершенно не требует переделки. В трехпроводных цепях три токовых катушки подобного счетчика можно включить через два трансформатора тока, пользуясь известной американской схемой (рис. 15).

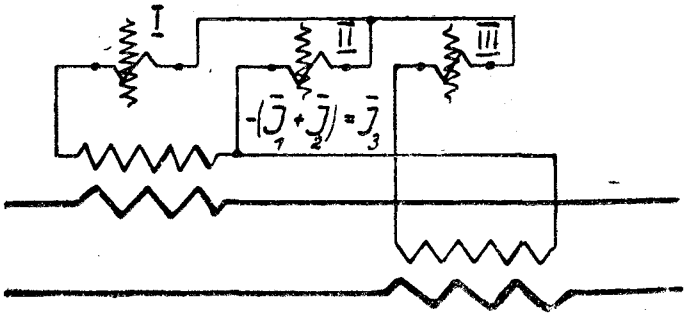


Рис. 15

Нетрудно переделать трехфазный двухсистемный счетчик и на схему Бергтольда (рис. 15), только в этом случае нужно перемотать токовые катушки, чтобы создать третью токовую цепь (схему Бергтольда в настоящее время применяет МОГЭС).

Трехфазные счетчики с замененными напряжениями, надо заметить, все же имеют существенные недостатки. Асимметричность напряжений трехфазной цепи вызывает значительные погрешности в показаниях токового счетчика. Особенно большие погрешности могут быть при случайном выключении одного напряжения (например, при перегорании предохранителя в одной фазе). Далее, существенным недостатком счетчиков с замененными напряжениями является относительная сложность схемы включения и ее сильное отличие от нормальной схемы счетчиков трехфазного тока. Благодаря этому обстоятельству, при включении названных счетчиков через измерительные трансформаторы легко возможны ошибки, которые в дальнейшем довольно трудно обнаружить. Насколько

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

важен последний недостаток, можно судить по тому, что по материалам поверочных бригад Комитета стандартов РСФСР и Главной палаты мер и весов СССР на местах, в среднем не менее 30% обычных счетчиков трехфазного тока оказываются включенными неправильно. Для счетчиков реактивной энергии дело усложняется еще тем, что поверки их на месте установки сложнее поверки счетчиков активной энергии.

Если отказаться от „замены" напряжений, то можно переделать счетчик, пользуясь способом шунта или короткозамкнутой обмотки, работа по переделке с избытком покрывается удобствами в эксплоатации счетчика реактивной энергии с нормальной схемой.

Необходимо иметь ввиду, что большинство наших станций страдает от недостатка трехфазных счетчиков активной энергии, и единственный резерв станций представляют собой однофазные счетчики советского производства.

Этот материал, конечно, вполне достаточен для учета реактивной энергии. Сумма показаний однофазных счетчиков, включенных по схемам рис. 9 или 11, дает величину потребления реактивной энергии. Равным образом никаких затруднений не представляет собой переделка однофазных счетчиков по способу шунта (рис. 4). В электролаборатории Комитета стандартов РСФСР по этому способу были переделаны несколько счетчиков заводов им. Кулакова и „Электроприбор". Приведем данные переделки одного счетчика Б-1 завода „Электроприбор". Токовая катушка счетчика была заменена катушкой с 83 витками и шунтирована сопротивлением в виде петли никелиновой проволоки.

Последовательно с катушкой напряжения было включено безиндукционное добавочное сопротивление 7 000 Ω. Включение токового сопротивления сильно уменьшает Φ_E; чтобы сохранить нормальное значение Φ_E, был удален (спилен) магнитный шунт.

Данные поверки счетчика при нормальном напряжении следующие:

Нагрузка током в %	Погрешность в %	
	$\sin\varphi = 1$	$\sin\varphi = 0{,}5$
100	−0,3	−0,3
80	+0,5	+0,5
60	0	0
40	+0,5	+0,8
20	−0,1	+1,5
10	−0,3	+1,3

Самохода нет, чувствительность $< 1\%$.

Никаких сомнений не вызывает включение трех подобных счетчиков в случае трехфазной четырехпроводной системы. Мы здесь остановимся только на работе двух таких счетчиков, включенных по схеме Арона.

При равномерной нагрузке фаз на первый счетчик действует вращающий момент, пропорциональной реактивной мощности $E_л \cdot I_л \cdot \sin(-30° + \varphi)$, и при значениях $\varphi < 30°$ первый счетчик вращается в отрицательную сторону; на второй счетчик действует $E_л \cdot I_л \cdot \sin(30° + \varphi)$, этот счетчик при всех значениях φ при индуктивной нагрузке будет вращаться в положительном направлении. Оба счетчика вращаются в положительную сторону при $\varphi > 30°$, что соответствует $\cos\varphi < 0{,}866$. Учет реактивной энергии производится обычно при индуктивной нагрузке, дающей $\cos\varphi < 0{,}8$; следовательно, в практических условиях оба счетчика реактивной энергии всегда будут вращаться в положительную сторону. Кроме того, учет реактивной энергии по показаниям двух счетчиков позволяет потребителю по скорости вращения первого счетчика судить, в какой мере в данный момент его $\cos\varphi$ близок к норме, т. е. к 0,8. Чем меньше сдвиг фаз, тем медленнее вращается этот счетчик, и при $\cos\varphi = 0{,}866 = \sin 30°$ он останавливается.

ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Секционирование электрических станций [1)]

С. Рокотян

Задачи секционирования станций

Секционирование преследует две основные задачи: 1) сохраняя преимущества параллельной работы, секционирование должно снизить размеры нарушений в системе при аварии в какой-либо ее точке и уменьшить аварийные токи до величины, определяемой параметрами аппаратуры и требованиями техники безопасности; 2) авария на одном участке не должна сопровождаться нарушением рабочего режима здоровых секций и колебания напряжения на них не должны быть чрезмерными.

Методы секционирования при применении их не должны ухудшать параллельную работу станций.

Методы секционирования

Первым испытанным методом, существующим уже сравнительно долгое время, является применение различных схем включения реакторов в рассечку шин (ring bus), схема Скотта (star bus), генераторные реакторы и различные комбинации этих систем.

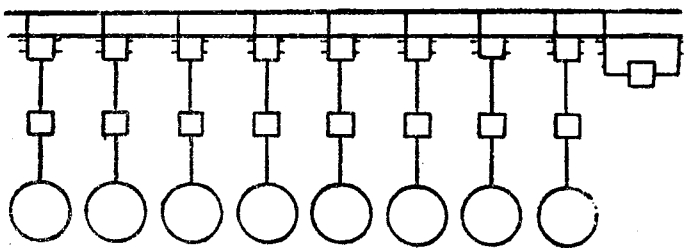


Рис. 1

Вторым методом является применение двухобмоточных генераторов, появившихся в последнее время в Америке и намеченных к производству у нас на советских заводах.

Третий метод—синхронизация отдельных агрегатов через нагрузку, т. е. синхронизация на низковольтных шинах понизительных подстанций или же синхронизация непосредственно на низковольтной сети (120—220). Этот метод нашел применение в некоторых американских городских кабельных сетях.

Четвертый метод—непараллельная работа отдельных частей станций или отдельных частей системы.

Все эти способы секционирования могут комбинироваться между собой.

А. Секционирование при помощи реакторов

Общее описание применяющихся схем секционирования Количество потребной аппаратуры

Для возможности сравнения между собой отдельных схем, в виде примера разобрана крупная станция мощностью 600 000 kW, состоящая из 8 генераторов по 75 000 kW, напряжение генераторов 10,5 kV. Для различных схем этой станции были рассчитаны аварийные токи, напряжение на здоровых секциях и потребная аппаратура. Результаты расчетов даны в табл. 1.

а) Секционирование станций, распределяющих энергию на генераторном напряжении. Несекционированная система двойных шин (рис. 1).

Эта схема может иметь значение лишь для мелких станций, так как при больших мощностях получаются значительные токи короткого замыкания и сильно удорожается вся аппаратура.

Здесь остановимся лишь на элементе схемы приключения генераторов к шинам, который явится составным элементом и для всех последующих схем. Генераторы соединены с шинами нормальной „вилкой" с двумя раз'единителями и одним масляным выключателем. В американской практике применяется несколько иной тип, а именно в каждом ответвлении „вилки" устанавливается свой масляник и, таким образом, общее число собственных выключателей на генератор равняется трем.

Такая схема удобнее в эксплоатации, но зато и более дорога. Промежуточной является схема с раз'единителями с дистанционным уравнением (рис. 2).

Наиболее простая схема секционирования—разделение шин реакторами на 2 секции (рис. 5). Выбор пропускной способности и реактивности реактора зависит, во первых, от мощ-

[1] „Секционирование электрических станций" С. Рокотяна входит в число докладов ВЭИ по основным научно-техническим проблемам единой высоковольтной сети, представленных в Оргкомитет по составлению генплана электрификации СССР.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 1

Реакторы в рассечку шин. Шины генераторного напряжения 10,5 kV. Авария — трехфазное короткое замыкание

Схема	Рис.	Мощность секции MVA	Реактивность реактора	Мощность короткого замыкания в MVA			Номинальн. мощность MB в MVA	Напряжение на соседних секциях в %									Примечание
				$t = 0$	$t = 0{,}25$	Уст.		1			2			3			
								0	0,25	Уст.	0	0,25	Уст.	0	0,25	Уст.	
1. Несекционированная система шин	Рис. 1	600	—	4 900	2 700	1 050	3 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Генераторы 75 000 KVA—15% MB.—1,125, реакт.—0
2. Две секции, разделенные реактором	„ 6	300	5%	3 500	2 050	966	2 000	70	47	29	—	—	—	—	—	—	Пропускная способность реактора 75 000 KVA
3. То же	„ 6	300	10%	3 097	1 838	888	2 000	86	65	48	—	—	—	—	—	—	§§ 2, 3, 4, 5 — потребная аппаратура на 1 генератор
4. То же	„ 6	300	15%	2 900	1 715	830	2 000	90	73	61	—	—	—	—	—	—	MB—1,375, реакторов 0,250
5. То же	„ 6	300	20%	2 800	1 670	820	2 000	91	86	79	—	—	—	—	—	—	
6. Четыре секции в кольце (Ring Bus)	„ 7	150	5%	3 210	1 950	990	2 000	61	47	29	77	47	34	61	47	29	§§ 6, 7, 8, 9 MB—1,25. Реакторов 0,5
7. То же	„ 7	150	10%	2 360	1 535	924	1 500	73	54	38	90	70	57	73	54	38	
8. То же	„ 7	150	15%	2 080	1 400	890	1 500	81	64	50	95	84	74	81	64	50	
9. То же	„ 7	150	20%	2 040	1 380	892	1 500	92	72	59	100	88	77	92	72	59	
10. Восемь секций в кольце (Ring Bus)	„ 9	75	5%	2 110	1 400	830	1 500	47	34	23	85	55	40	95	60	47	§§ 10 и 11 MB—2,125, реактор—1
11. То же	„ 9	75	10%	1 570	1 130	800	1 500	63	49	39	90	70	60	100	82	71	

ности станции, от аварийных токов системы, от параметров установленной или предполагающейся к установке аппаратуры и, во-вторых, от размеров предполагаемых небалансов активной и реактивной мощности между различными секциями и допускаемых колебаний напряжения между различными секциями.

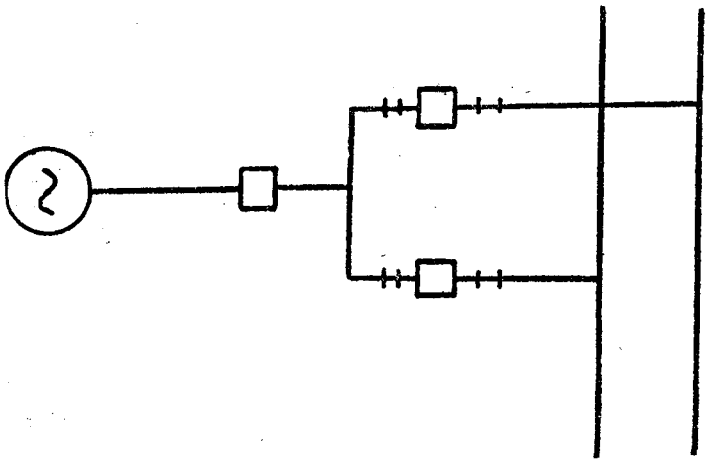


Рис. 2

Для осмотра и ремонта реактора, схема включения его должна допускать прочное и удобное выключение реактора без нарушения работы системы.

Имеются две схемы включения, из которых одна употребляется преимущественно в Америке (рис. 3). Вторая же нашла свое применение в Германии и у нас (рис. 4). Схема

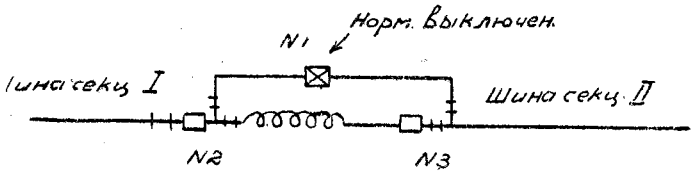


Рис. 3

рис. 3 имеет три масляника на реактор, и более удобна и надежна в эксплоатации, давая значительно большую гарантию сохранения устойчивости и быстрой локализации аварии. Схема же рис 4 позволяет обойтись лишь одним выключателем, что сопровождается некоторыми потерями в простоте управления схемой и надежности. Масляник № 1 нормально выключен и включается лишь при необходимости каких-либо изменений в схеме, при осмотре реактора и т. д.

На рис. 5 представлена схема станции, разделенной реакторами на две рабочих секции. Схема имеет третью секцию которая является резервной, а также может служить транс-

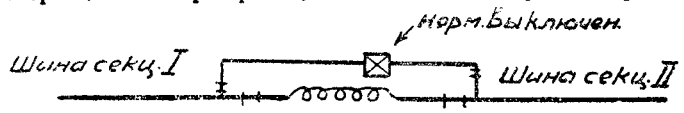
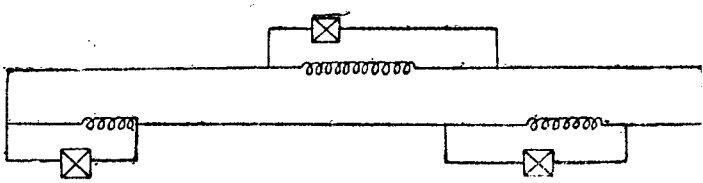


Рис. 4

ферной шиной при необходимости переключения генератора или фидера с одной секции на другую.

Кроме представленной на рис. 5 кольцевой системы шин



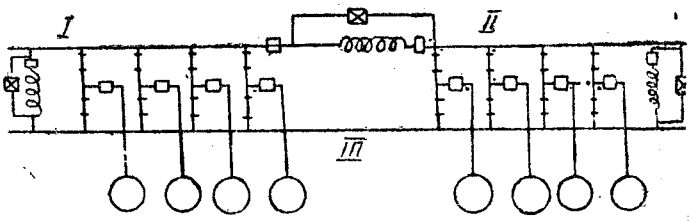


Рис. 5

может иметь место схема с параллельным секционированием шин (рис. 6).

Рис. 7 иллюстрирует дальнейшее развитие схемы рис. 5 (число секций увеличено до 4). При этом снижаются размеры аварий, зато возрастает количество потребной аппаратуры. На рис. 8 изображено американское видоизменение этой схемы с резервной системой шин вместо резервной секции рис. 7. Двойной комплект шин при значительном количестве секций дает слишком дорогую и громоздкую схему, и вряд ли ее можно рекомендовать.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Продолжая секционирование далее, доводим число секций до 8 (по числу генераторов) и получаем схему рис. 9.

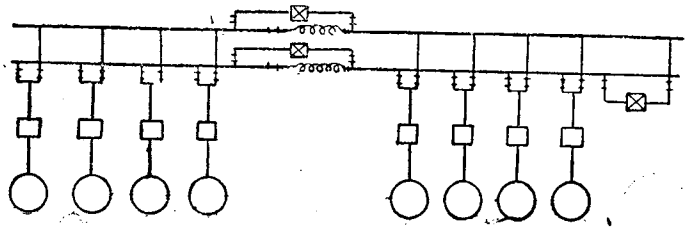


Рис. 6

Кроме включения реакторов в рассечку шин, они иногда включаются и последовательно с генераторами (генераторные реакторы). В чистом виде (рис. 10) генераторные реакторы не применяются, но в комбинации с секционными реакторами (рис. 11) они в некоторых случаях могут найти место. Число

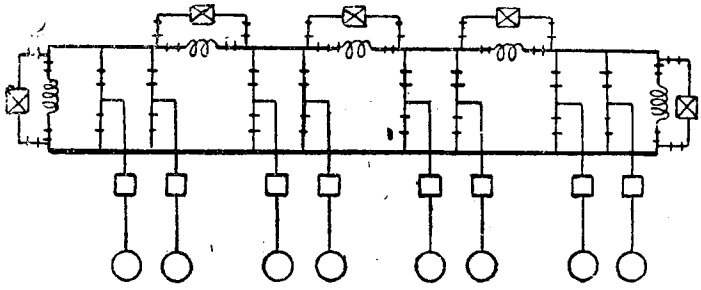


Рис. 7

требуемых масляников при применении генераторных реакторов не изменяется, число же реакторов значительно возрастает.

Схемы с применением генераторных реакторов имеют ряд недостатков, из которых основным является значительное падение напряжения в генераторных реакторах (так как в противном случае они не дадут эффективных результатов в снижении нарушений при аварии). Отсюда—необходимость допустить повышение напряжения на клеммах генератора, после чего генераторные реакторы несут с собою постоянные потери и ухудшают устойчивость.

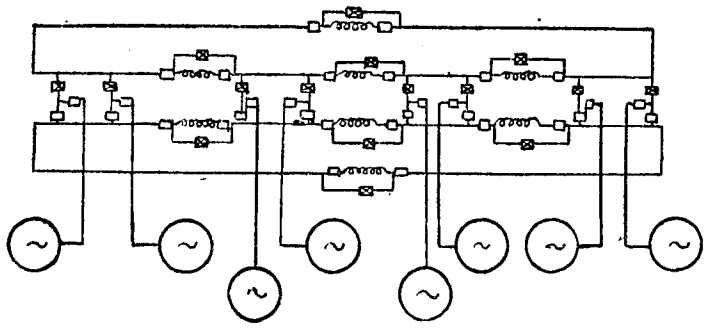


Рис. 8

Несколько лучшие результаты дает схема рис. 12. По этой схеме достигается возможность одновременного использования генераторных реакторов в качестве секционных. Для разбираемой станции каждый реактор взят на 75 000 kW, падение напряжения—10%. Нормально через реактор течет лишь половина рабочего тока генератора, и таким образом, падение напряжения равно лишь 5%.

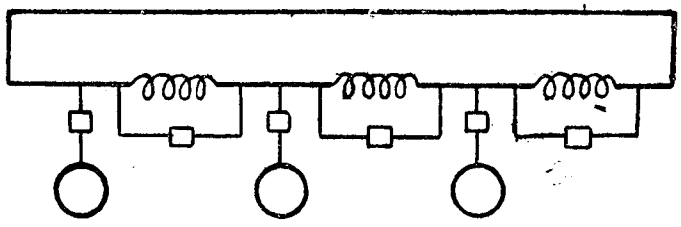


Рис. 9

При аварии на какой-либо из секций шин, сквозной аварийный ток протекает через оба реактора последовательно, встречая 20%-ное сопротивление. Рис. 13 дает более удобную в управлении схему с тремя выключателями вместо двух на каждый генератор и систему шин.

В последнее время приобрела известность так называемая схема Скотта, или по американскому выражению, „звезда шин" (Star bus) (рис. 14). Каждый генератор или группа ге-

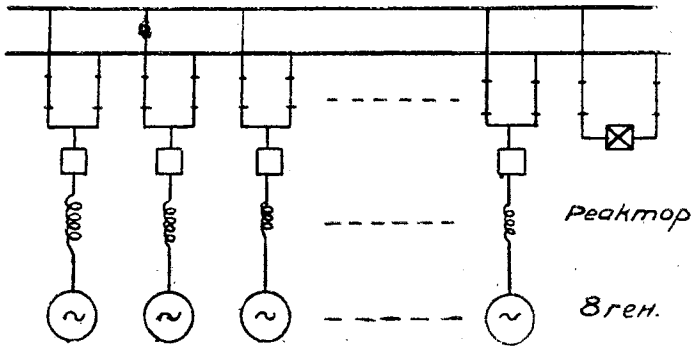


Рис. 10

нераторов имеет свою собственную секцию шин, нормально изолированную от других секций; к этой секции приключены фидера, питаемые данным генератором, и мощность фидера подбирается так, чтобы нормально имелся баланс мощности данной секции. Синхронизация отдельных секций друг с дру-

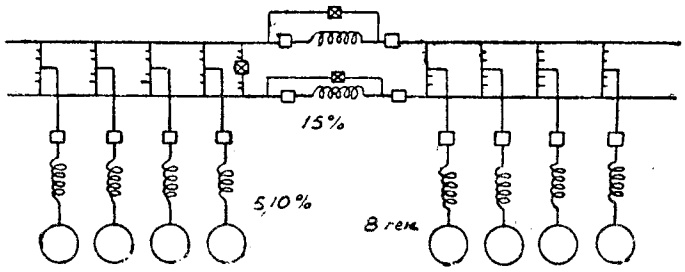


Рис. 11

гом достигается при помощи так называемой синхронизационной шины. Соединение последней с секциями производится через реакторы. Кроме целей синхронизации, синхронизационная шина служит для передачи при колебаниях нагрузки недостающей мощности от одной секции к другой, вследствие чего иногда ее называют уравнительной шиной.

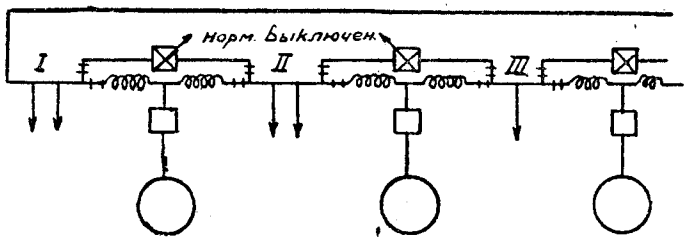


Рис. 12

При значительной мощности электроцентрали следует секционировать и синхронизационную шину и тем уменьшить размеры наиболее тяжелой аварии при схеме Скотта—короткое замыкание на синхронизационных шинах (рис. 15).

в) Секционирование районных станций, передающих энергию на высоком напряжении. Наиболее простой является схема с несекционирован-

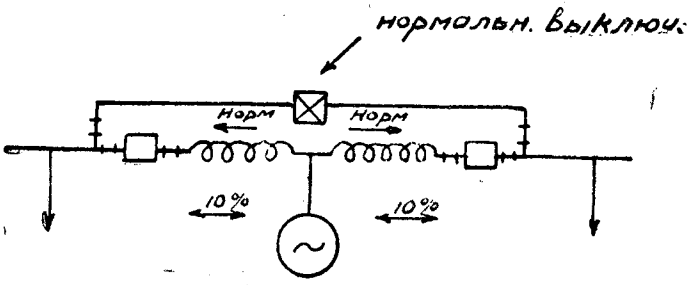


Рис. 13

ными шинами (рис. 16). Аварийные токи в некоторой степени снижаются реактивным сопротивлением трансформаторов. Более высокое напряжение несколько улучшает условия работы коммутационной аппаратуры при авариях (снижение силы тока).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Однако для мощных станций эта схема не удовлетворяет требованиям надежной работы. Как только появились конструкции высоковольтных реакторов на 35, 110 и 150 kV, то получили распространение те же схемы секционирования, что и для станций с распределением на генераторном напряжении.

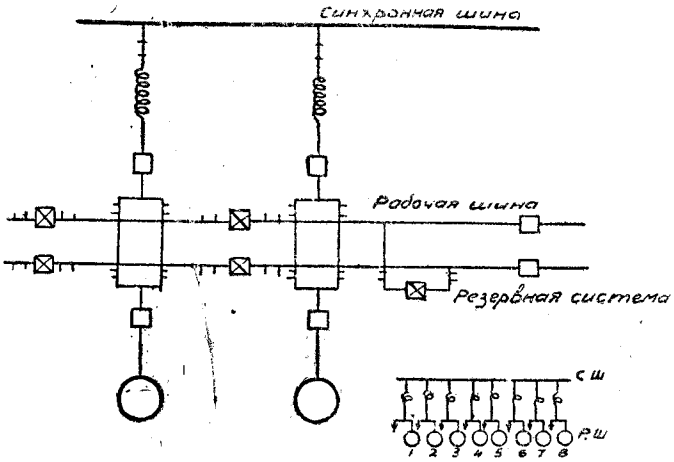


Рис. 14

На рис. 17 изображена схема районной станции, секционированной на 2 части через высоковольтный реактор порядка 10—15—20%. На рис. 17 изображена двойная система шин, но может иметь место и кольцевая шина с резервной секцией, аналогично схеме рис. 5.

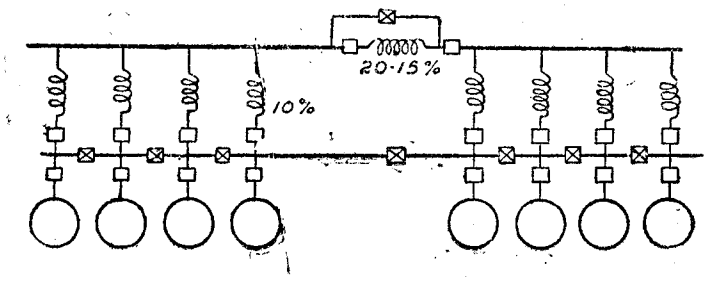


Рис. 15

Точно так же нашла себе применение на районных станциях и схема Скотта с высоковольтными реакторами, например, схема Днепровской гидростанции (рис. 18). Следует отметить высоковольтное изменение схемы 7, использующей генераторные реакторы в качестве секционных. При этом вместо реакторов можно использовать трехобмоточные трансформаторы (рис. 19).

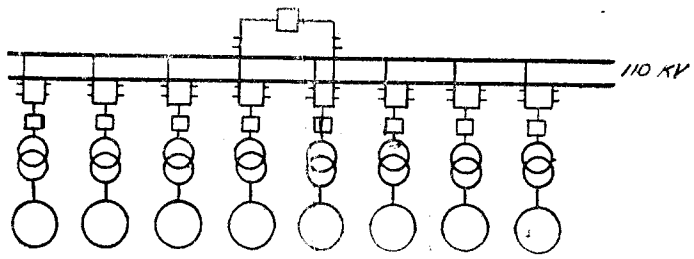


Рис. 16

Каждая обмотка присоединена к изолированной секции. Обе вторичные обмотки выполняются на одно и то же напряжение, и мощность их определяется возможными небалансами нагрузки секций. С подобной схемой мы встретимся еще раз при рассмотрении схем включения двух обмоточных генераторов.

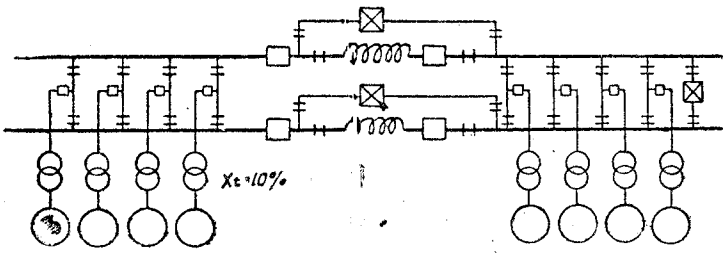


Рис. 17

Аварийные характеристики различных схем секционирования

Для сравнения различных схем с точки зрения снижения размеров аварии и ее локализации были проделаны расчеты трехфазного короткого замыкания на одной из секций (станция 600 0 0 kW из 8 генераторов на 75 00 kW с нормальными характеристиками. Реактор от 5 до 20% мощностью 75 000 kW).

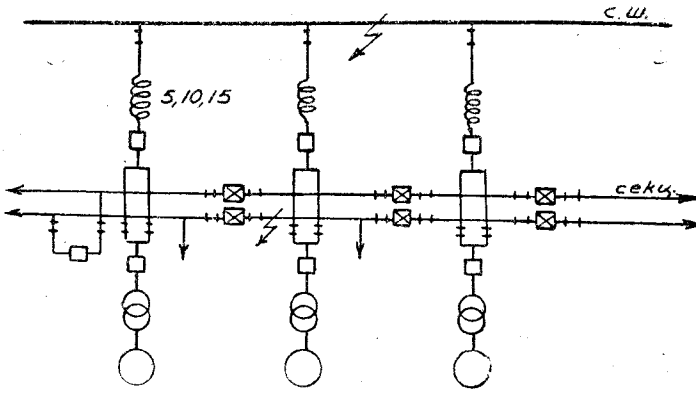


Рис. 18

Расчеты приведены лишь для схем станций, распределяющих энергию на генераторном напряжении. Для станций с повысительными трансформаторами соотношения между отдельными сметами были те же самые, абсолютная же величина мощности короткого замыкания несколько снижена за счет реактанса повысительных трасформаторов и, кроме того, условия

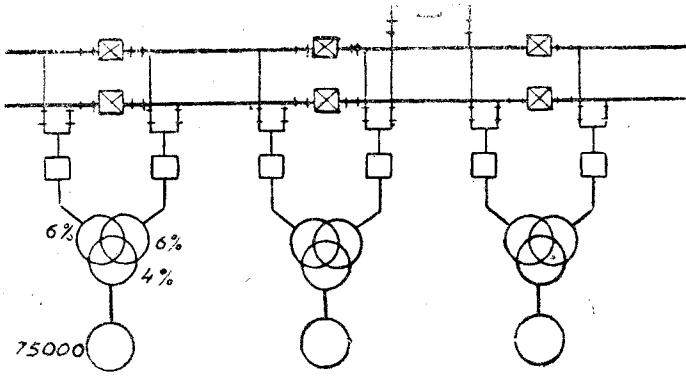


Рис. 19

работы коммутационной аппаратуры были значительно лучше (более высокое напряжение—снижение силы тока). При расчете обратное питание не учитывалось.

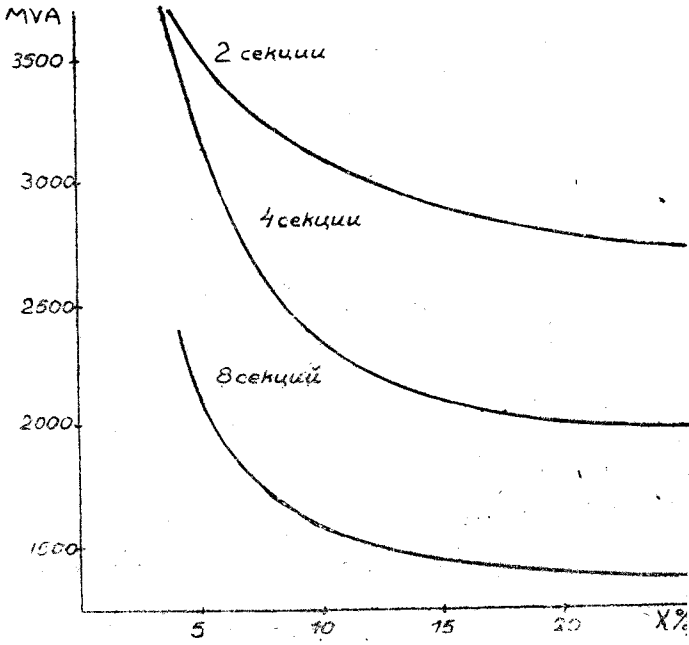


Рис. 20

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В табл. 1 даны результаты расчетов для схем с кольцевыми или параллельными шинами, секционированными реакторами в рассечку.

Из таблицы видно, что по мере увеличения реактанса реактора для какой-либо схемы мощность короткого замыкания падает, асимптотически приближаясь к мощности короткого изолированной секции. Увеличение числа секций также уменьшает мощность короткого. На рис. 20 даны кривые мгновенной мощности короткого замыкания в зависимости от реактанса реакторов для различного числа секций, а на рис. 21 те же кривые, но в зависимости от числа секций. Секционирование станции снижает мгновенную мощность короткого с 5 000 000 kVA, (несекционированная станция) до 1 500 000 kVA, а номинальную разрывную мощность с 3 000 000 до 1 500 000. Локализующее действие реакторов для соседней секции уменьшается по мере увеличения числа секций (см. табл. 1). Это объясняется тем обстоятельством, что с увеличением числа секций ток короткого замыкания все больше и больше обусловливается соседней секцией, и несмотря на уменьшение суммарного тока короткого замыкания, распределение его на генераторы соседней секции увеличивается. Но в общем локализирующее действие для всей станции все же возрастает с увеличением числа секций.

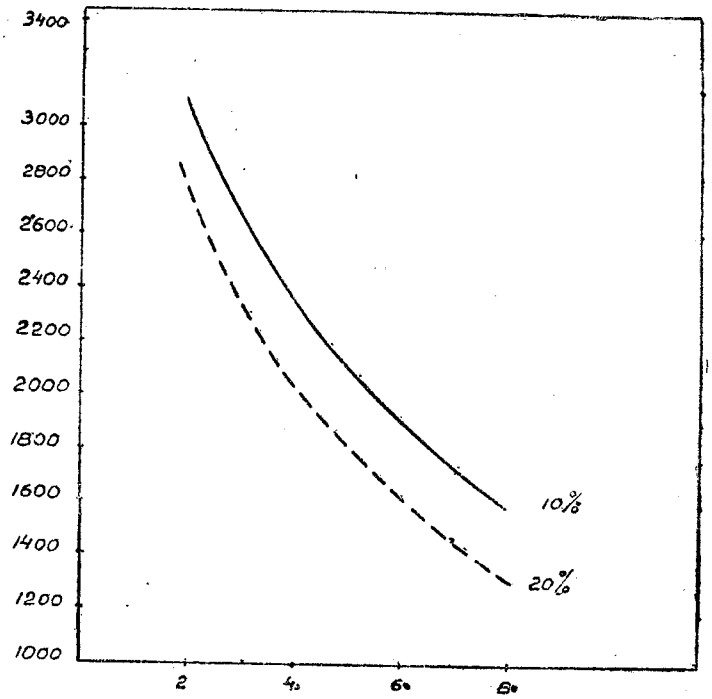


Рис. 21. Число секций. Реактор в рассечку. Влияние числа секций

Величина реактанса реактора оказывает сильное влияние на локализирующее действие, как это видно из рис. 22. Реакторы оказывают наиболее сильное локализующее действие в первый момент аварии. С течением же времени усиливается размагничивающее действие реакции якоря у генераторов и напряжения на здоровых секциях понижаются. Зависимости напряжений здоровых секций от времени для случая 4 секций изображены на рис. 23.

На табл. 2 даны расчеты для трехфазного короткого при применении генераторных ректоров.

Включение одних лишь генераторных реакторов оказывает малое влияние на мощность короткого и, кроме того, не дает локализующего эффекта. При одновременном применении генераторных и секционных реакторов получаются более благоприятные результаты. Однако снижение мощности короткого происходит, главным образом, за счет секционного реактанса. Мощность короткого получается несколько меньше, чем при отсутствии генераторных реакторов, но зато незначительно падает и локализующее действие (ср. § 4 и 5, табл. 2 и § 4, табл. 1).

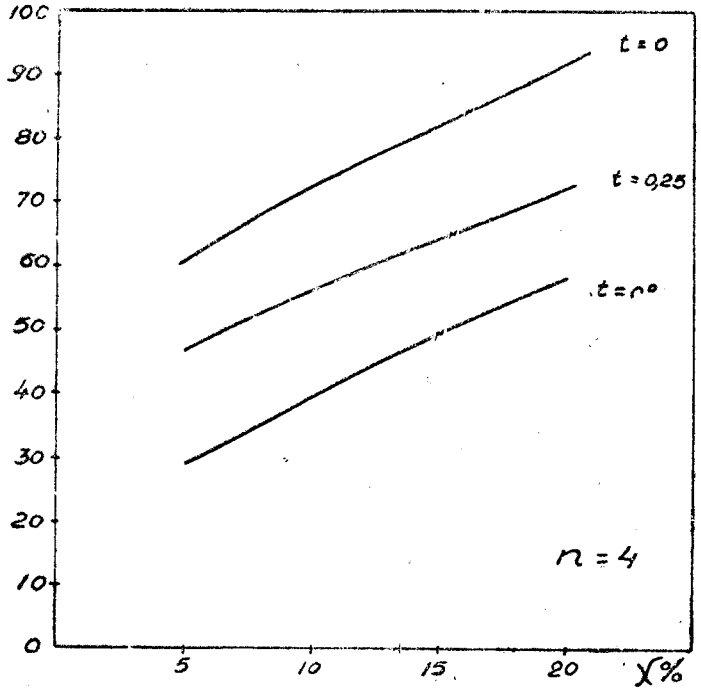


Рис. 22. Реактанс в рассечку. Напряжение соседней секции

Весьма хорошие результаты дает схема рис. 12 — использование генераторных реакторов одновременно в качестве секционных (см. § 6, табл. 2).

Таблица 2

Генераторные реакторы. Шины генераторного напряжения 10,5 kV. Авария — трехфазное короткое замыкание на шинах секции

Схема	Рис.	Мощность секции	Реактор у генератора	Мощность короткого замыкания в			Номинальн. мощность MB—MVA	Напряжение на шинах соседних секций в %									Примечание
								1			2			3			
				$t = 0$	$t = 0{,}25$	Уст.		0	0,25	Уст.	0	0,25	Уст.	0	0,25	Уст.	
1. Генераторные реакторы при несекционированной системе шин	Рис. 10	600	5%	4 030	2 330	1 000	2 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	§§ 1, 2, 3. На 1 генератор MB—1,125, реакторов—1
2. То же	„ 10	600	10%	2 850	1 775	965	2 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3. То же	„ 10	600	15%	2 350	1 530	920	1 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4. Генераторные реакторы при 15% реакторе в рассечку шин	„ 11	300	5%	2 220	1 400	810	1 500	84	69	58	—	—	—	—	—	—	§§ 4, 5, 6. На 1 генератор MB—1,875, реактор.—1,250
5. То же	„ 11	300	10%	1 820	1 215	765	1 500	79	66	56	—	—	—	—	—	—	
6. Генераторные реакторы в качестве секционных	„ 12	75	10%	1 200	920	710	1 000	76	65	58	95	90	85	100	76	59	

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 3

Схема Скотта. Шины генераторного напряжения 195 kV

Схема	Рис.	Мощность секции	Реактор	Мощность короткого замыкания			Номинальн. мощность МВ—MVA	Напряжение в %						Авария	Примечание
								Синхр. шин			Здоровой секции				
				0	0,25	Уст.		0	0,25	Уст.	0	0,25	Уст.		
1. Схема Скотта при несекционированной синхрониз. шине	Рис. 14	75	5%	1 730	1 200	750	1 500	83	62	45	95	71	51	3-фазн. к. з. на секции	На 1 генератор необходимо выключ. 7, реакторов—125
2. То же	Рис. 14	75	10%	1 200	830	565	1 000	92	72	66	100	83	71	То же	
3. То же	Рис. 14	75	15%	1 040	720	480	750	97	85	77	100	87	79	То же	
4. То же	Рис. 14	75	5%	4 030	2 330	1 000	2 500	0	0	0	34	20	8	3-фазн. к. з. на синхрон. шинах	
5. То же	Рис. 14	75	10%	2 850	1 775	965	2 000	0	0	0	47	32	16	То же	
6. То же	Рис. 14	75	15%	2 350	1 530	920	2 000	0	0	0	59	38	23	То же	Числитель: напряж. на секции аварийной половины. Знаменатель: напряж. на секции здоровой половины на генерат. МВ — 4,375; реакторов—1,125
7. Схема Скотта—синхрон. шины, секционирован. через 15% реакторов	Рис. 15	75	10%	1 820	1 215	765	1 500	79	65	56	71/92	44/76	24/65	То же	
8. То же, на реактор 20%	Рис. 15	75	10%	1 740	1 160	725	1 500	85	73	64	71/95	44/82	24/22	То же	
9. Схема Скотта — группа по 2 генератора	—	150	10%	1 765	1 140	650	1 500	72	61	52	96	81	69	То же	§§ 9, 10, 11, 12: на генерат. МВ — 2,625, реакторов—0,500
10. То же	—	150	15%	1 600	1 010	560	1 000	74	66	60	92	82	75	То же	
11. То же	—	150	20%	1 510	940	500	1 000	76	70	64	100	93	85	То же	
12. То же	—	150	15%	1 600	1 155	794	1 500	—	—	—	80	58	40	К. з. на синхронн. шин.	
13. Схема Скотта — группа по 4 генераторе	—	300	10%	2 900	1 540	775	1 500	47	40	34	94	30	68	К. з. на секции	§§ 13, 14, 15 на 1 генератор МВ — 1,625, реакторов—0,250
14. То же	—	300	15%	2 700	1 460	725	1 500	50	45	38	100	90	76	То же	
15. То же	—	300	15%	890	740	610	750	—	—	—	89	74	61	К. з. на синхронн. шин.	

В табл. 8 представлен материал по так называемой схеме Скотта или схеме „звезды". Эта схема дает наиболее эффективное снижение размеров аварии и лучшее локализующее действие. На рис. 24 даны значения мощностей аварии при различных реактансах реакторов. Кривая *A* характеризует короткое замыкание на шинах секции, и кривая *B*—короткое на синхронизационных шинах.

Слабым местом схемы Скотта являются синхронизационные шины. При коротком на синхронизационных шинах мощность аварии достигает значительных размеров и, кроме того, такая авария выводит из синхронизма всю станцию. Мощность аппаратуры также значительно возрастает до 2,5—2 млн. kVA.

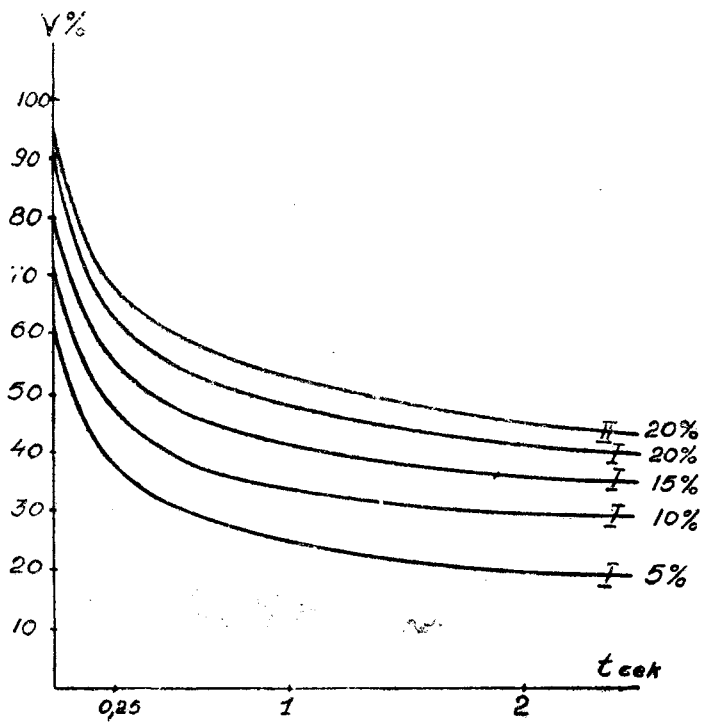


Рис. 23

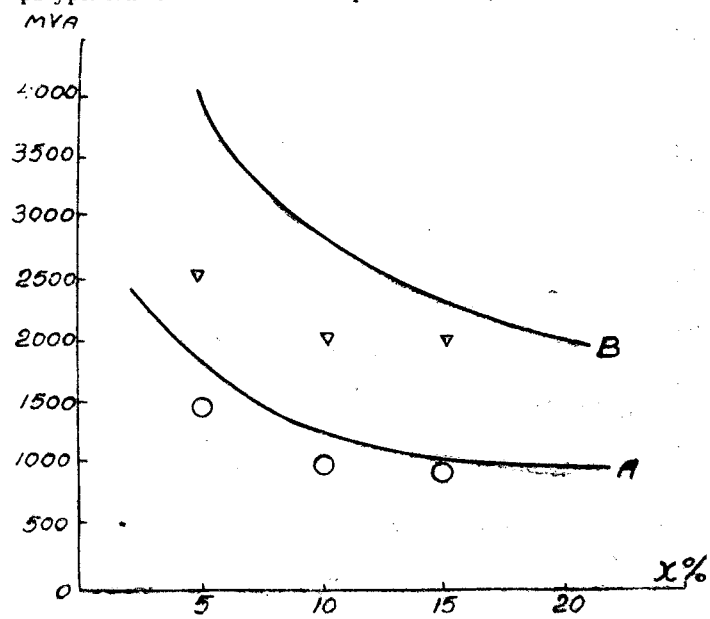


Рис. 24

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

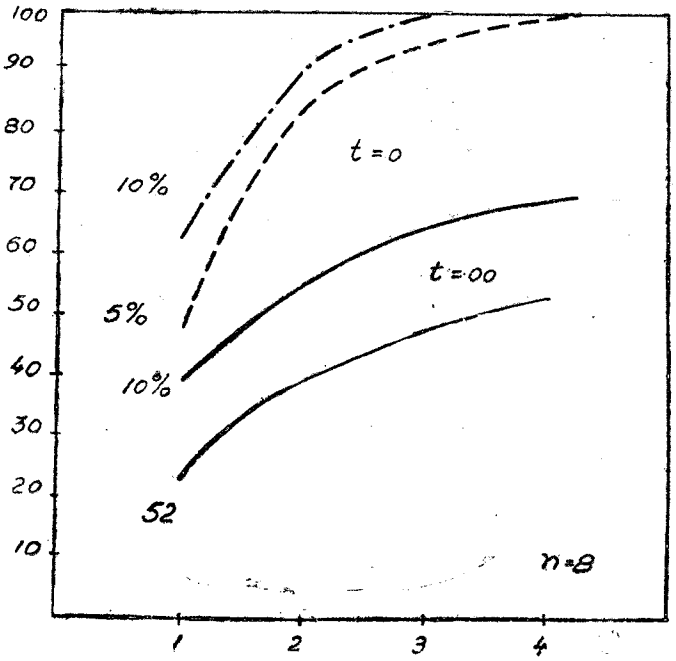


Рис. 25

Средством снижения последствий этой наиболее тяжелой аварии является секционирование самой синхронизационной шины (см § 7 и 8, табл. 3), которое снижает величину нарушений при аварии и позволяет сохранить часть станций в синхронной работе, так как в этом случае теряют параллельную работу только те генераторы, которые соединены непосредственно с аварийной секцией синхронизационной шины.

Схема Скотта дает значительно большее локализующее действие по сравнению с предыдущими схемами, как это видно из рис. 25.

Практическое значение напряжения здоровых секций при аварии на одной из секций—70—80%, т. е., примерно, в 2 раза выше значений для схемы секционирования реакторами в рассечку шин (ср. рис 22 и 25).

Авария на синхронизационных шин вызывает значительное падение напряжения, но секционирование синхронизационной шины дает вполне приемлемые результаты (см. §§ 7 и 8, табл. 3).

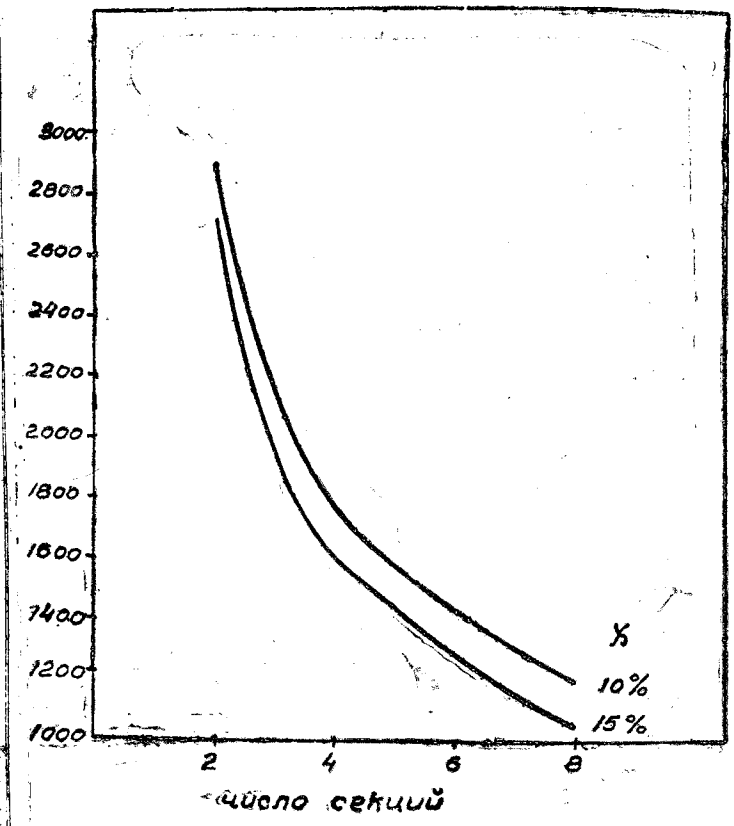


Рис. 26. Схема Скотта. Влияние числа секций

Теперь о влиянии числа секций.

На рис. 26 изображены кривые зависимости мощности короткого замыкания от числа секций. Авария—короткое на шинах одной из секций. Кривые показывают, что уже с 4—5 секций дальнейшее увеличение практически не отзывается на характеристиках схемы станции. При аварии па синхронизационной шине все реакторы будут включены параллельно и увеличение числа секций увеличит ток короткого замыкания.

Регулирование [1])

Секционирование дает благоприятные результаты в смысле снижения размеров аварии и ее локализации, но оно имеет и отрицательные стороны, выражающиеся в уменьшении гибкости системы. При несекционированной системе всякое увеличение нагрузки может быть покрыто любым генератором, не вызывая никаких неприятных последствий. Секционированная же станция работает нормально лишь при балансе как активной, так и реактивной мощности секций, т. е. когда по реакторам, соединяющим между собой отдельные секции, не

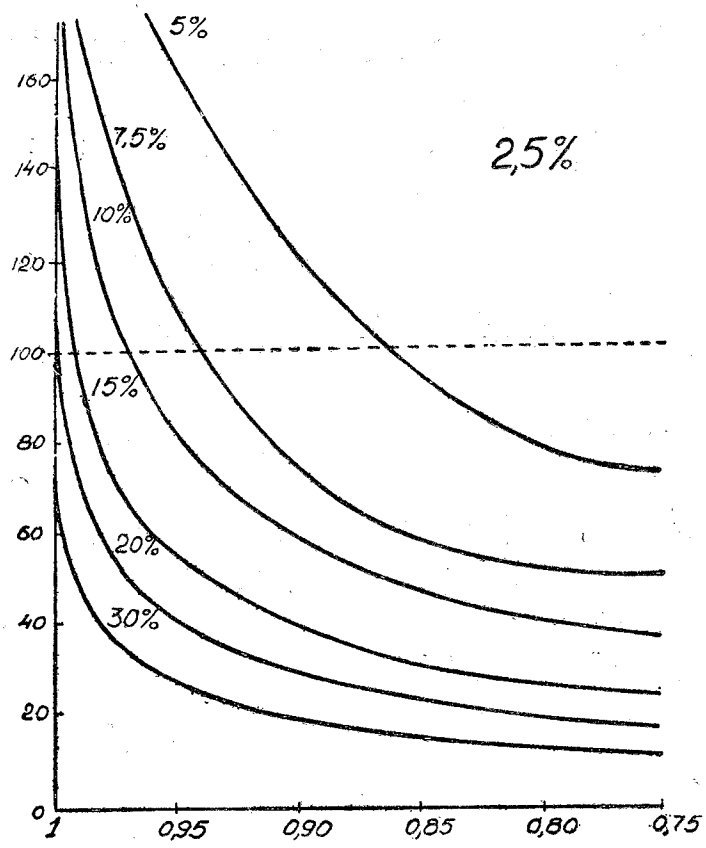


Рис. 27

течет никакого тока. При небалансе мощности на каких-либо секциях появляется переток мощности от одних секций к другим. Протекание тока по секционным реакторам вызывает добавочные потери активной и, главным образом, реактивной мощности, а также создает разницу между напряжениями соседних секций как по величине, так и по фазе.

Активная мощность, передаваемая через реактор, вызывает сдвиг по фазе между напряжением соседних секций и потому влияет лишь на устойчивость параллельной работы секций. Передача же реактивной мощности вызывает разность напряжений по величине и потому оказывает влияние на регулирование. Если по условиям колебания напряжения в системе нельзя допустить большой разности напряжений соседних секций, то через реактор можно передать лишь определенную мощность. Эта предельная мощность зависит от следующих факторов: a) величины допускаемой разности напряжений соседних секций, b) от пропускной способности реактора при длительной нагрузке, c) от коэфициента мощности передаваемого через реактор тока (cos φ), d) от реактивности реактора.

На рис. 27 и 28 даны кривые предельных мощностей в зависимости от коэфициента мощности сквозного тока для раз-

[1]) См. „Электричество" № 2, 1932.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

личной величины реактивности реактора и при допустимой разности напряжений 2,5 (рис. 27) и 5% (рис. 28).

Из кривых видно, что уменьшение коэфициента мощности (cos φ) сквозного тока вызывает резкое снижение предельной мощности, которая может быть передана через реактор при заданной разности напряжений соседних секций. При разности напряжений 2,5% (рис. 27) предел определяется пропускной способностью реактора лишь при коэфициенте мощности, близком к единице, и при небольшой реактивности реактора (при реактансе реактора 10% cos φ должен быть не меньше 0,97, а при 5%—можно допустить 0,86). При допустимой разности напряжений 5% (рис. 28) предельные мощности значительно возрастают. При реактансе реактора 5% предел определяется пропускной способностью реактора для всех значений cos φ. При 10%-ном реакторе снижение предельной мощности, вследствие допустимой разности напряжений, получается не столь значительно (примерно, 80% от способности реактора).

Из вышеизложенного следует, что если небаланс активных мощностей не вызывает больших затруднений с точки зрения регулирования, то небаланс реактивных мощностей приводит к большим разностям напряжений соседних секций. Если в системе имеются свободные источники реактивной мощности (в виде синхронных конденсаторов или незагруженных генераторов), то иногда удается избежать небалансов реактивной мощности и передавать через реактор только активную. В противном случае, приходится мириться с разностью напряжений соседних секций или же прибегать к специальным мерам (см. ниже). Коэфициент мощности генераторов оказывает большое влияние на размеры небалансов реактивных мощностей. Чем выше коэфициент мощности генераторов, тем, в большинстве случаев, меньше будут эти небалансы, так как коэфициент мощности токов небаланса, примерно, равен коэфициенту мощности генераторов (при условии правильного распределения в системе синхронных конденсаторов).

Для промышленных и городских станций, распределяющих энергию на генераторном напряжении, небалансы мощностей не имеют особенно большого значения, так как с ними всегда можно бороться путем соответствующего переключения фидеров с одной секции на другую. При больших величинах небалансов, составляющих больше половины мощности машины, можно переключить генератор с одной секции на другую, если только это позволяется условиями токов короткого замыкания, в противном случае приходится переключать фидера. Благодаря большому числу фидеров на каждой секции, в станциях, распределяющих энергию на генераторном напряжении, удается бороться с небалансами мощностей без применения каких-либо специальных мер, путем соответствующего переключения фидеров или генераторов.

Для районных станций, распределяющих энергию на высоком напряжении, возможны весьма значительные небалансы, особенно при аварийных режимах (например, при выходе одной из линий или генератора). В таких случаях наличие реакторов, в особенности для станций, питающих замкнутые сети, ставит станцию в довольно тяжелые условия работы, именно возникает перераспределение активных и реактивных мощностей между генераторами и отдельными секциями, получаются значительные разности между напряжениями различных секций, затрудняется работа автоматических регуляторов напряжения и пр. Все это в значительной мере снижает гибкость системы.

Что касается районных высоковольтных станций, то бороться с небалансами путем переключения отходящих линий или генераторов во многих случаях не представляется возможным. Ограничения обусловливаются токами короткого замыкания и тем обстоятельством, что мощность, передаваемая по линии, бывает значительна, составляя для мощных и сверхмощных передач величину мощности нескольких генераторов. Поэтому для районных высоковольтных сетей станций часто придется иметь дело с большими небалансами активных и реактивных мощностей и передачей их через реакторы.

Если по условиям колебания напряжения системы разность напряжений соседних секций превышает допустимую, то приходится принимать специальные меры. Одной из таких мер является установка вместо реактора добавочного трансформатора (бустера) с коэфициентом трансформации 1:1 и с регулировкой под нагрузкой (рис. 29). Наличие такого трансформатора позволяет осуществить передачу с одной секции на другую любой реактивной мощности (в пределах мощности трасформатора) при любых разностях напряжений между ними. Напряжения секций получаются не связанными друг с другом и допускают свободную регулировку. Такая система дает большую гибкость, но обходится несколько дороже обычной.

Переходя к оценке различных схем секционирования с точки зрения регулирования, необходимо отметить, что схема с использованием генераторных реакторов в виде секционных

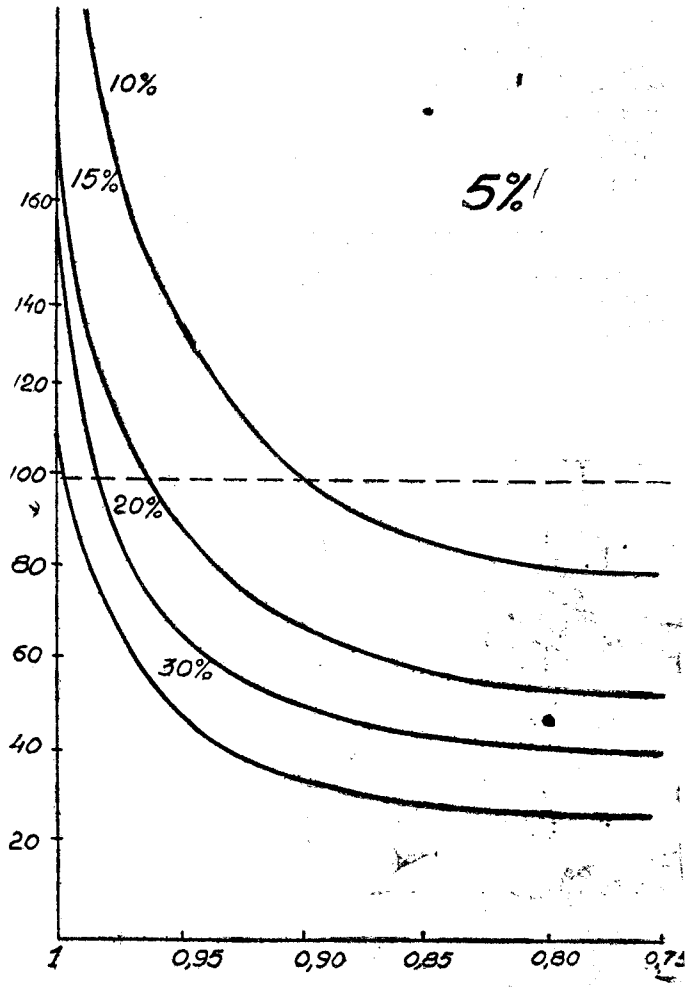


Рис. 28

(рис. 11 и 19) создает наибольшие трудности, так как генератор включен в месте стыка одной секции с другой и, кроме того невозможно независимое регулирование напряжения отдельных секций. При применении этой схемы для районных высоковольтных станций, когда вместо реакторов употребляются трехобмоточные трансформаторы (рис. 19), возможно получить достаточно гибкую схему, если одну из высоковольтных обмоток выполнить с регулировкой под нагрузкой. Схема Скотта и реакторы в рассечке шин почти идентичны. В этом случае, когда небаланс покрывается, главным образом, от одной секции, преимущества за схемой с реакторами в рассечке шин, так как тогда избыток мощности проходит лишь через один реактор (в случае, если энергию надо передать не на соседнюю секцию, пользуются трансферной шиной, так что мощность идет лишь через один реактор). В схеме же Скотта избыток мощности передается через два реактора последовательно. Однако схема Скотта имеет преимущества перед реакторами в рассечке шин тогда, когда небаланс мощности покрывается от всех секций или же при обмене энергией между рядом секций. Кроме того, схема Скотта не требует переключений в случае, если энергию не требуется передавать на соседнюю секцию, и с этой точки

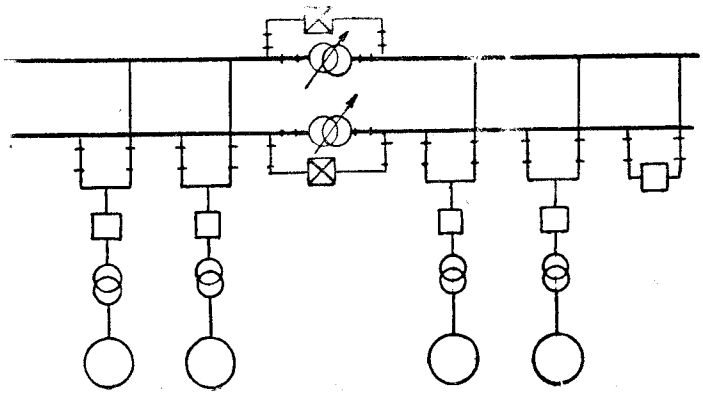


Рис. 29

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

зрения она проще в эксплоатации. В отношении регулирования желательно иметь возможно меньшее число секций.

При проектировании станций необходимо возможно точнее выявить небалансы мощностей и, главным образом, небалансы реактивных мощностей. Эти величины должны служить одним из критериев для выбора числа секций и величины реактивности и пропускной мощности реакторов, а также для разрешения вопроса, ставить ли реактора или добавочные трасформаторы с регулировкой.

Влияние секционирования на устойчивость

Секционирование через реакторы уменьшает связи между генераторами и тем самым ухудшает устойчивость параллельной работы. При аварии в точке системы, несимметрично расположенной относительно секций, неминуемо будут иметь место колебания секций друг относительно друга и в

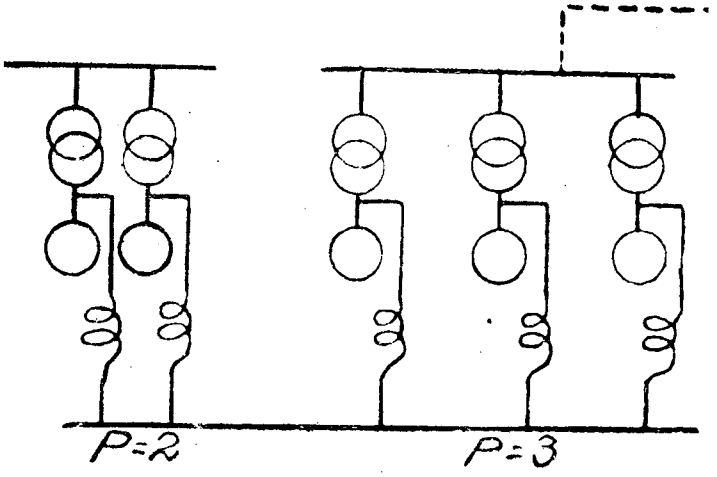


Рис. 30

наиболее тяжелых случаях потеря синхронизма между ними. С другой стороны, секционирование снижает размеры аварий и тем самым уменьшает толчок системы, вследствие чего уменьшается размах качаний и возможность выпадения из синхронизма. Дать исчерпывающий анализ влияния обоих этих факторов для всех схем и способов секционирования не представляется возможным. Каждая силовая система при ее проектировании должна быть просчитана на устойчивость, и только анализ устойчивости системы совместно с анализом токов коротких замыканий могут дать ответ о технической пригодности той или иной схемы секционирования данной силовой системы. Тем не менее, какая-то приближенная оценка должна все же быть. С этой целью ВЭИ был произведен анализ динамической устойчивости ряда схем с реакторами, который частично был продолжен в Энергострое.

Анализ был проделан для следующих схем: a) районной станции с синхронизацией на генераторном напряжении по системе Скотта (рис. 30) и b) районной станции с синхронизацией на высокой стороне—высоковольтные шины секционирования на 2 секции через реактор (рис. 31).

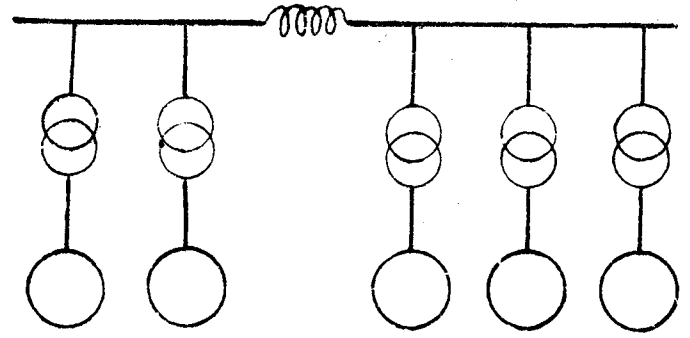


Рис. 31

Синхронизация на высоком напряжении по схеме Скотта для данной схемы (2 секции) с точки зрения устойчивости аналогична второй схеме и поэтому ее анализ не производился.

a) Схема Скотта с реакторами на низковольтной стороне. Анализ этой схемы показал, что при практических величинах реактанса реакторов устойчивость параллельной работы генераторов друг относительно друга обеспечивается с большим запасом даже для такой тяжелой аварии, как трехфазное короткое замыкание на клеммах генератора. Единственно опасной аварией является короткое замыкание на синхронизационной шине. Локализация аварии возможна лишь при отключении всех масляных выключателей, соединяющих генераторы с синхронизационной шиной, т. е. при потере синхронной работы.

b) Реактор в рассечке высоковольтных шин (рис. 31). Анализ устойчивости при двухфазном коротком на шинах левой секции при числе генераторов в секциях—2 в левой, 3 в правой и при реактансе реактора 30% показал, что система имеет запас устойчивости порядка десяти. Уменьшение реактивности реактора даст еще больший запас устойчивости.

Для того чтобы учесть влияние системы был проделан ряд просчетов с различным числом машин на обеих секциях, так как влияние системы можно представить в виде дополнительных генераторов, присоединенных к шинам секции.

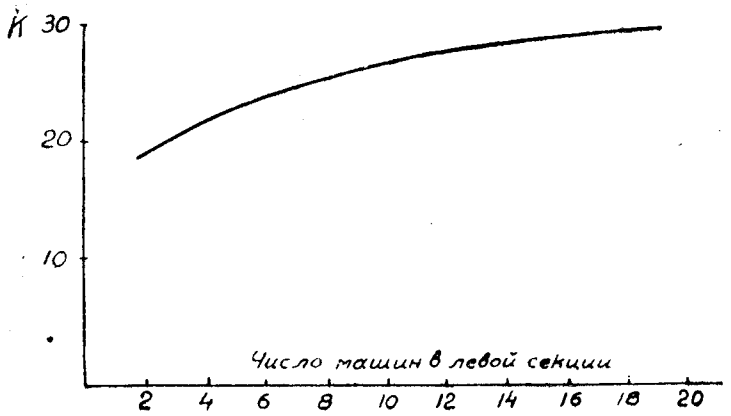


Рис. 32

Мощность, присоединенная к поврежденной секции, почти не оказывает влияния на коэфициент запаса, — он несколько возрастает при увеличении числа машин на аварийной секции, но весьма незначительно (рис. 32). На правой секции присоединено 2 машины, реактанс реактора — 30%.

Увеличение мощности неповрежденной секции, наоборот, оказывает резкое влияние на устойчивость, и коэфициент запаса падает при увеличении числа машин на здоровой секции. Критическим значением при 2 машинах на поврежденной

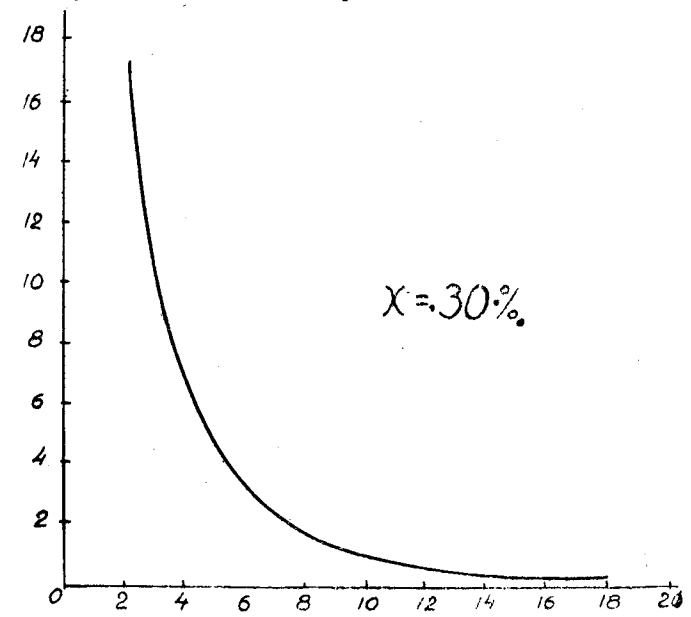


Рис. 33

секции и 30% реактора является мощность правой здоровой секции порядка 9 машин, в этом случае $k = 1$ (рис. 33). При большем числе машин система неустойчива.

Для критического случая, когда $k = 1$ (2 машины на поврежденной секции и 9 на здоровой), был проделан просчет устойчивости при различных значениях реактанса реактора

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

(рис. 34). При уменьшении процентного реактанса реактора от 30 до 10%, коэфициент устойчивости значительно возрастает, что вполне понятно, поскольку 30%-ный реактор, представляя значительное сопротивление на пути синхронизирующей мощности, в то же время по сравнению с 10% лишь немного снижает толчок системы при коротком замыкании.

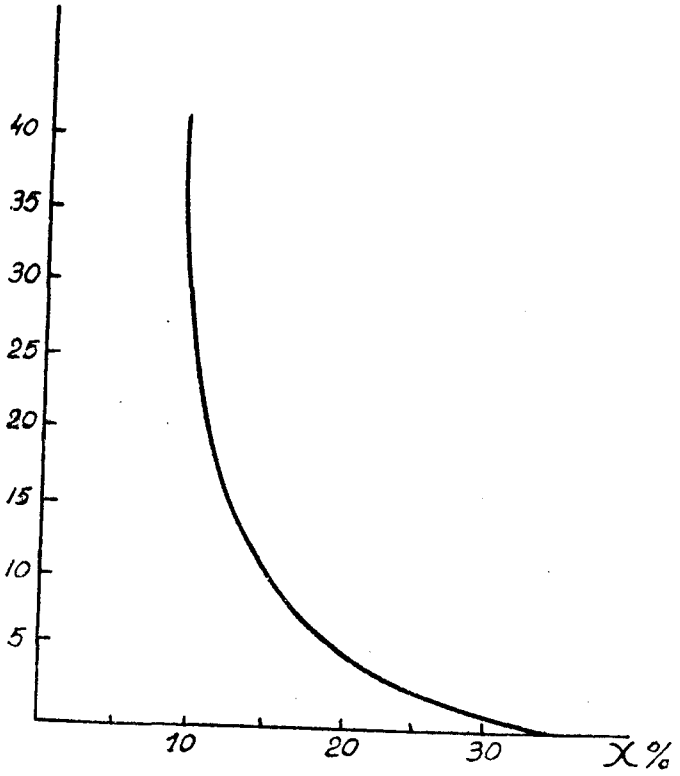


Рис. 34

Все вышеприведенное относится к случаю баланса мощности секции, т. е. отсутствию передачи мощности через реактор. Передача мощности через реактор значительно уменьшает коэфициент запаса устойчивости системы.

Падение коэфициента устойчивости происходит как в случае передачи с аварийной секции, так и при передаче с здоровой секции. Анализ, произведенный для той же станции, показал, что устойчивость зависит как от количества передаваемой через реактор мощности, так и от ее коэфициента мощности. Коэфициент запаса падает при увеличении передаваемой мощности. Уменьшение $\cos\varphi$ тока через реактор, в особенности при передаче мощности со здоровой секции, также уменьшает коэфициент устойчивости. В качестве примера можно привести следующие данные: если при отсутствии перехода мощности коэфициент запаса был равен 22, то при передаче мощности, равной $^1/_2$ машины при $\cos\varphi = 0{,}7$, k упало до 2,25 (рис. 35).

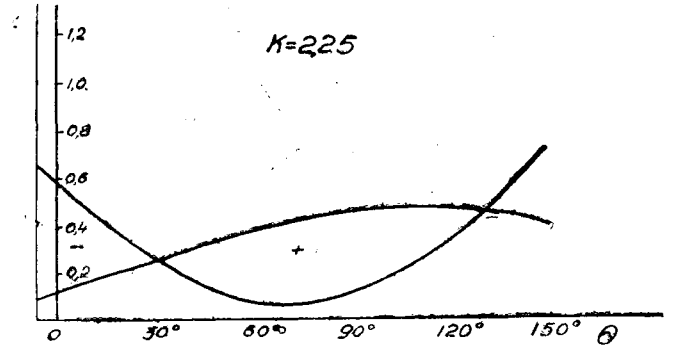


Рис. 35

На основании работ ВЭИ и Энергостроя можно сделать следующие основные выводы:

1. Обе практически применимые схемы районных станций — реактор в рассечку высоковольтных шин и система Скотта на высокой стороне при нормальных мощностях секций и нормальных значениях реактанса реакторов — дают достаточные значения коэфициента запаса устойчивости. 2. Условия устойчивости хуже при повреждении секции с меньшей мощностью. 3. Система, соединенная со станцией, оказывает значительное влияние на устойчивость, в особенности мощность, присоединенная к здоровой секции. Это обстоятельство лишний раз указывает на необходимость детального анализа каждой силовой системы. 4. Величина реактанса реактора оказывает значительное влияние на устойчивость. Коэфициент запаса падает по мере роста реактанса реактора. При балансе мощности секций критическим значением будет реактанс, равный примерно 270% от мощности здоровой секции (с учетом мощности параллельно присоединенных станций). 5. Передача мощности через реактор снижает коэфициент запаса устойчивости.

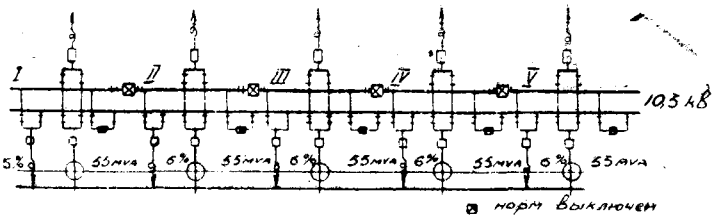


Рис. 36

Для станций, распределяющих энергию на генераторном напряжении, имеют место те же соотношения, что и для районных станций. Некоторое улучшение в запасе устойчивости возможно за счет исключения реактанса трансформаторов, но все же желательно было бы провести подобный расчет устойчивости для типичных схем секционирования промышленных станций.

Выводы и заключения

На основании всего изложенного можно сделать следующие выводы:

1. При секционировании генераторных станций через реакторы выбор числа секций пропускной мощности и реактивности реактора необходимо производить на основе тщательного изучения поведения всей системы с точки зрения коротких замыканий, регулирования и устойчивости.

2. Несомненно мало эффективное действие генераторных реакторов. Генераторные реакторы неудобны в эксплоатации, не имеют локализующего действия, заставляют генераторы работать с повышенным напряжением, увеличивают реактивные потери в системе и ухудшают условия устойчивости системы.

От применения генераторных реакторов следует отказаться, и реакторы, включенные последовательно в цепь главного тока, следует применять лишь на отходящих фидерах с малым реактивным сопротивлением (кабели или короткие линии) для ограничения мощности выключателей потребителя.

3. Схема с кольцевыми или параллельными шинами, секционированными через реакторы, позволяет снизить за счет увеличения мощности реактора, за счет добавления секций, мощность аварии до низших пределов, но она допускает значительное падение напряжения на соседних секциях при аварии на одной из секций.

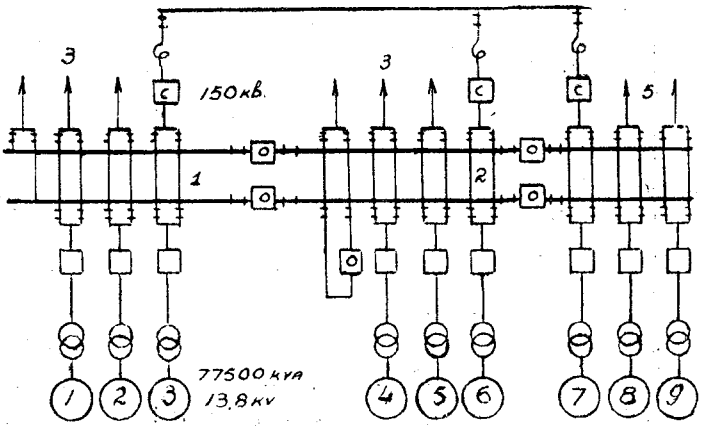


Рис. 37

4. Схема Скотта (звезда) наиболее эффективно снижает ток короткого замыкания, падение напряжения на секциях наименьшее по сравнению с другими схемами.

Схема проста в управлении и обладает достаточной гибкостью. Недостатком схемы Скотта является суровость аварии на синхронизационных шинах, но она может быть снижена секционированием уравнительной шины. Схема Скотта даст

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

и меньший удельный расход аппаратуры, поскольку при кольцевой шине удовлетворительный результат и сохранение надежной и устойчивой работы возможно только лишь при включении реактора по схеме с тремя масляниками (рис. 4), в то время как для схемы Скотта такое выключение реактора требуется только для реактора, секционирующего уравнительную шину.

Интересно отметить, что станции с повышенными требованиями в смысле надежности и бесперебойности эксплоатации приняли схему Скотта (Магнитогорская ЦЭС, Энергострой, рис 36).

Схема Магнитогорской ЦЭС представляет собою обычную схему Скотта на генераторном напряжении с несекционированной резервной системой шин. Мощность станции первой очереди 250 000 kW (5 генераторов по 5 000 kW). Реакторы 6% — 3 000 A. Мощность генераторных и секционных выключателей 750 000 kVA. При дальнейшем расширении ЦЭС предположено секционировать синхронизационную шину.

Вторым примером схемы Скотта, но на напряжении в 150 kV является Днепровская гидростанция (рис. 37). Мощность секции 240 000 kW (т. е. 3 машины). Реактор – 5% по отношению к мощности секции. Разрывная мощность выключателей с учетом всей системы равна 2 500 000 kVA.

(Окончание в следующем номере).

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Турбогенератор № 5 БежГРЭС с алюминиевой обмоткой ротора[1])

В. В. Енько

В 1929 г. фирмой „Oerlikon" был установлен на БежГРЭС, при заводе „Красный Профинтерн", турбогенератор № 5. Этот турбогенератор представляет интерес как с точки зрения конструктивных особенностей, главным образом, в отношении применения алюминия для обмотки ротора, так и с эксплоатационной точки зрения, так как во время эксплоатации этого турбогенератора обнаружился ряд дефектов и произошла авария.

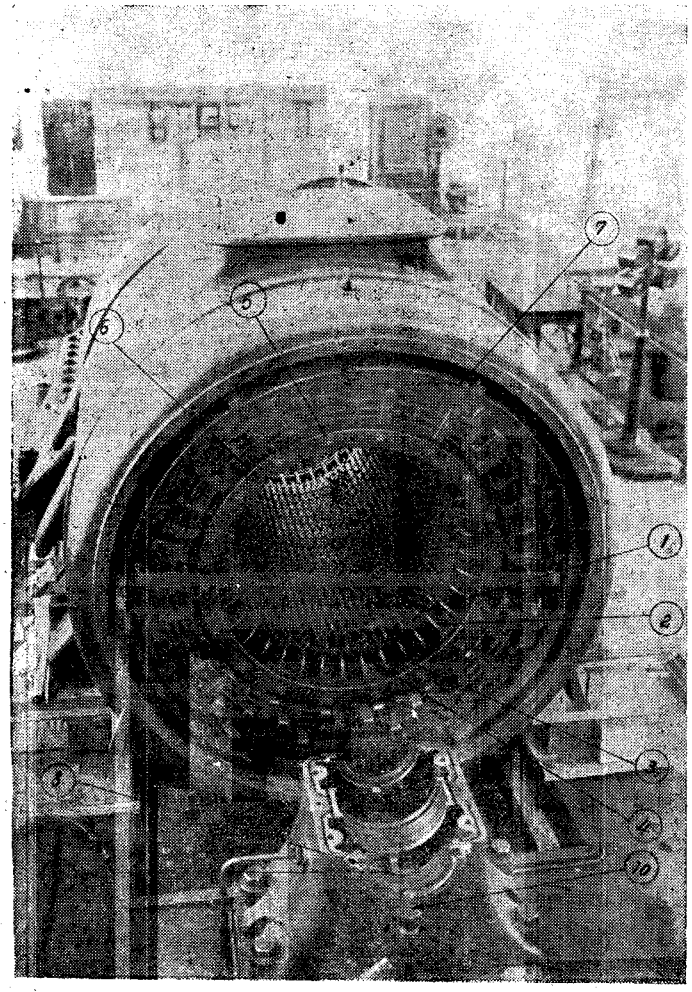


Рис. 1. Общий вид статора. *1*—один „этаж" лобовой части, *2*—другой „этаж" лобовой части, *3*—гребенка для крепления одного „этажа", *4*—гребенка для крепления другого „этажа", *5*—болты, стягивающие гребенки и лобовые части, *6*—бронзовое кольцо, *7*—ширма для направления потока воздуха для охлаждения лобовых частей, *8*—место расположения вентилятора для отсасывания паров масла, *9*—место расположения лабиринта, *10*—труба для отвода паров масла

Применение алюминия вместо меди для обмотки ротора представляет особый интерес потому, что этим в значительной степени разрешается проблема построения мощных турбогенераторов на 3000 об/мин.

В настоящее время фирмой Oerlikon строится самый большой генератор—мощностью 90 000 kVA на 3 000 об/мин. Ленинградский завод „Электросила" также приступает к изготовлению турбогенераторов с алюминиевой обмоткой ротора. В 1931 г. строился уже первый опытный турбогенератор мощностью 7 500 kVA, и в дальнейшем намечено перейти на постройку мощных двухполюсных турбогенераторов с алюминиевой обмоткой ротора.

Естественно, вопросы конструкции и эксплоатации машин являются взаимно связанными, и поэтому в данной статье сделаны попытки дать описание генератора одновременно с обеих точек зрения.

Конструкция турбогенератора

Генератор имеет следующие табличные данные: завод „Oerlikon" № 135349, Гуре 1284, соединение обмоток в звезду, выведено шесть концов; 11 000 kW, 6 000 V, 1510 A, $\cos\varphi = 0{,}7$, n — 3 000, f — 50.

Данные возбудителя; завод „Oerlikon" 100 kW, 220 V, 455 A, возбуждение шунтовое; имеются дополнительные полюса.

1. Кожух. Статорный кожух генератора (рис. 1) цельный, он имеет вверху отверстие для отвода нагретого воздуха в случае применения проточной системы охлаждения. Так как в данном случае охлаждение генератора замкнутое, то это отверстие закрыто крышкой на винтах.

2. Статор. Железо статора легированное, собрано в 15 пакетов, между которыми образуются вентиляционные каналы. Общая длина железа с каналами 1 300 mm. Железные листы пакетов нанизаны на стальные болты, которые прикреплены к кожуху винтами (рис. 2, деталь *1*). При сборке статорного железа фирма уделяет специальное внимание спрессованию зубцов во избежание вибрации их, что может иметь место при недостаточно плотной прессовке. Для этого после сборки статорных пакетов и спрессования всего железа нажимными плитами производится дополнительная прессовка каждого зубца в отдельности специальными приспособлениями. В таком сильно спрессованном состоянии каждый зубец удерживается при помощи клина (рис. 2, деталь *2*; рис. 3, деталь *1*).

Пазы для обмотки статора открыты, и обмотка расположена углубленно таким образом, что верхняя часть пазы не заполнена обмоткой (рис. 4). Такое расположение применено фирмой, с одной стороны, для создания лучших условий охлаждения обмотки зубцов, и, с другой стороны, для уменьшения токов Фуко в стержнях обмотки, возникающих благодаря влиянию главного магнитного потока ротора и поэтому почти не зависящих от нагрузки. Силовые линии магнитного потока ротора, входя в зубец статора, как известно, частично заходят в паз, причем, тем больше, чем выше насыщение зубцов. Но даже и при бесконечно-большой проводимости (для силовых линий) зубца силовые линии главного потока частично будут заходить в паз. Это явление имеет место, главным образом, в верху паза, так что, углубляя обмотку, можно в значительной степени уменьшить токи Фуко в стержнях обмотки, возбуждаемые главным магнитным потоком. В некоторых генераторах углубленное расположение обмотки в пазу применяется для увеличения рассеяния силовых линий потока обмотки статора. В данном случае, судя по материалу фирмы, углубле-

[1]) Сообщение электромашинного отдела ВЭИ.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ние обмотки не преследовало этой цели. По мнению проф. Рюденберга, такая мера не способствовала значительному увеличению рассеяния благодаря большому насыщению зубцов и уменьшению их магнитной проницаемости [1].

Для уменьшения токов Фуко, индуктируемых собственным полем рассеяния паза, проводники обмотки статора разделены на отдельные слои (рис. 4). В пазу находятся три проводника, из коих каждый состоит из двух параллельных ветвей, подразделенных на слои следующим образом: верхний проводник,—каждая ветвь на четыре, средний и нижний проводники,—каждая ветвь на три слоя. Отдельные слои перевиты (транспозиция) между собой в циклической последовательности.

Изоляция обмотки статора в основном состоит из миканита как между проводом и железом, так и между проводами и составляющими их слоями. На лобовых соединениях наружная изоляция состоит из компаундной массы, внутренняя—преимущественно из миканита. Лобовые части обмотки расположены в два „этажа" (рис. 3, деталь *2* и *3*; рис. 1, деталь *1* и *2*). По выходе из пазов проводники обмотки удерживаются с двух сторон гребенками (рис. 3, деталь *4* и *5*; рис. 1, деталь *3* и *4*) из изоляционного материала „Harzpapier". Эти гребенки вместе с лобовыми частями обмотки стягиваются болтами (рис. 3, деталь *6*; рис. 1, деталь *5*), ввернутыми одним концом в нажимные плиты; другой конец болтов укреплен бронзовым кольцом, охватывающим по окружности статора все болты. Для уменьшения добавочных потерь эти болты сделаны из антимагнитного материала. Лобовые соединения обмотки выполнены по эвольвентам (рис. 5), эволютой которых является окружность, концентричная с осью вращения ротора. Вентиляция статора—аксиально радиальная. Воздух подается вентиляторами, расположенными по обеим сторонам ротора и дающими поток в радиальном направлении (рис. 6, деталь *1*, рис. 7, деталь *1*). Для усиления охлаждения лобовых соединений имеется специальная ширма (рис. 1, деталь *7*), служащая для направления потоков воздуха в надлежащем направлении сквозь лобовые соединения. Эвольвентные соединения одного и другого „этажа" направлены в противоположные стороны (рис. 5) и образуют с торца статора решетку, через которую проходит охлаждающий воздух; таким расположением обеспечивается интенсивное охлаждение лобовых соединений.

3. Ротор. Тело ротора вместе с валом состоит из одной поковки из хромоникелевой стали. Пазы изготовлены фрезерованием. Основной особенностью конструкции „Oerlikon" является применение алюминиевой обмотки для ротора. Благодаря замене меди алюминием достигается уменьшение механических усилий, возникающих вследствие действия центробежной силы. Таким путем разгружаются зубцы, клин и каппы (бандажи); уменьшаются напряжения в центральн отверстии и, наконец, изоляция обмотки подвергается мен шему давлению и вследствие этого дольше сохраняется.

Как известно медь легко поддается пайке оловом и серебром. Для сращивания медных стержней обмотки ротора пр меняется обычно пайка серебром. Алюминий же, наоборо весьма трудно поддается пайке. Поэтому интересно, как образом выполнено сращивание алюминиевых стержней оп сываемого генератора. Здесь следует различать два случа соединение алюминиевого стержня с алюминиевым и соедин ние алюминиевого стержня с медным. Для соединения ал миниевых стержней между собою фирма „Oerlikon" применя сварку. Все соединения между отдельными катушками о мотки ротора выполнены при помощи сварки. Места свар указаны на рис. 16.

Для соединения алюминиевого стержня с медным применяю ся заклепки. На рис. 8 показано соединение алюминиево стержня обмотки с медным стержнем, служащим для отво к контактному кольцу ротора. Порядок выполнения соединен следующий: сначала берется небольшой отрезок алюминиево стержня и сращивается при помощи заклепок с медным нез висимо от обмотки, а затем этот отрезок алюминия соединяе ся со стержнем обмотки при помощи сварки. Таким приемо устраняются затруднения, неизбежные при заклепывании н посредственно к стержням обмотки в трудно доступных м стах. Интересно также, насколько хорошо будет сохраняться контакт между медью и алюминием со временем.

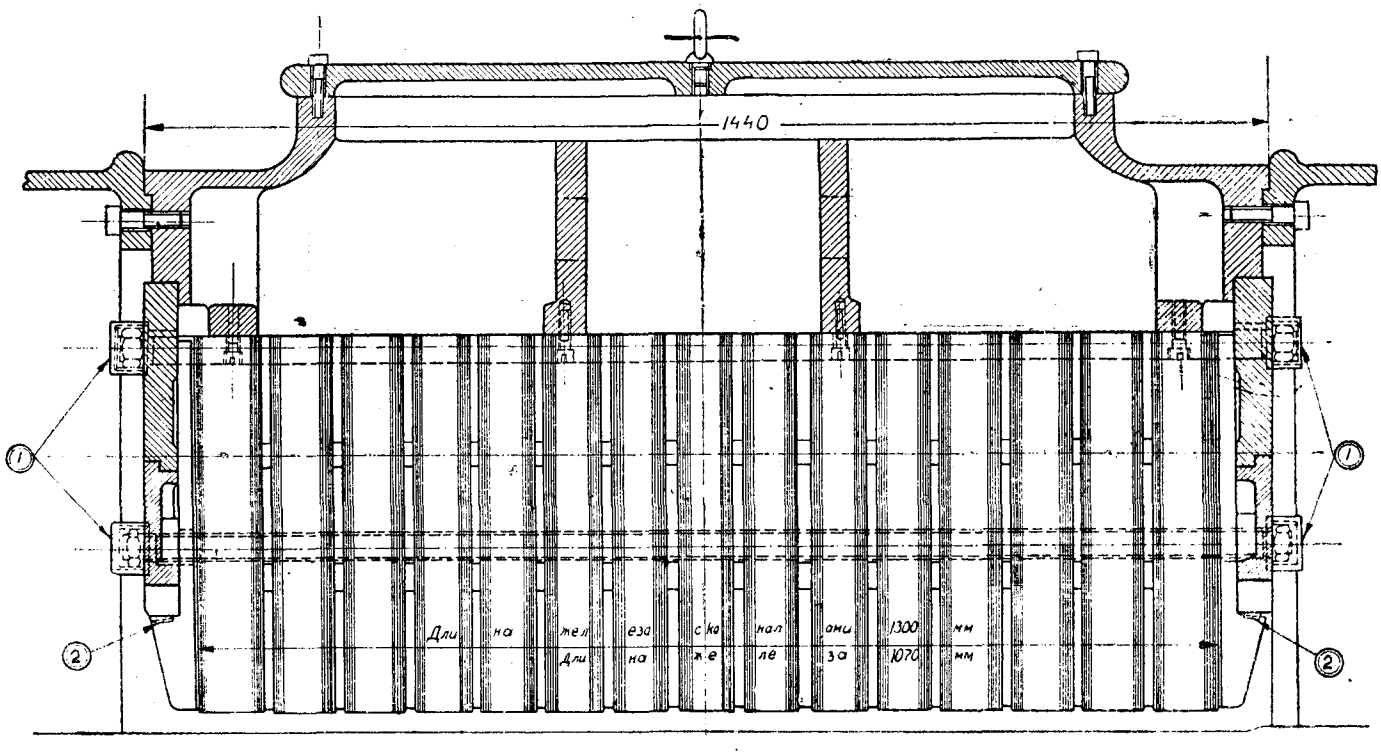


Рис. 2

Применение алюминия для обмотки ротора, разгружая его в механическом отношении, наоборот, увеличивает его тепловую нагрузку. Вследствие большего удельного сопротивления алюминия, по сравнению с медью, при одном и том же числе ампервитков требуется большая мощность на возбуждение. Благодаря этому возрастает количество тепла, выделяемое обмоткой ротора, и для его отвода требуется более усиленная вентиляция, чем для ротора, имеющего медную обмотку. Задача эта разрешается фирмой „Oerlikon" применением специальных воздушных каналов, профрезованных в зубцах ротора между пазами (рис. 9, деталь *2*; рис. 13, деталь *1*; рис. 14 деталь *3*). Каналы эти закрыты клиньями, доходящими приблизительно до $^1/_3$ длины ротора. Дальше канал открыт, и в этом месте воздух выбрасывается. Посредине длины канала имеется глухая перегородка, делящая канал на две самостоятельные половины. Аксиальные вентиляторы для подачи охлаждающего воздуха расположены по обеим концам ротора, концентрично с радиальными вентиляторами, служащими для охлаждения статора (рис. 6, деталь *2*; рис. 7, деталь *2*). Охлаждающий воздух засасывается с обеих сторон ротора аксиальными вентиляторами и прогоняется сквозь лобовые части обмотки в вентиляционные каналы, из которых выбрасывается в между

[1] Интересно отметить, что ударный ток короткого замыкания данного турбогенератора, с учетом слагающей постоянного знака по осциллограмме, равен 30 000 А, что соответствует реактансу 12,8%. Для современного турбогенератора такая величина реактанса не может быть признана выше средней. Осциллограмма приведена на рис. 22.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

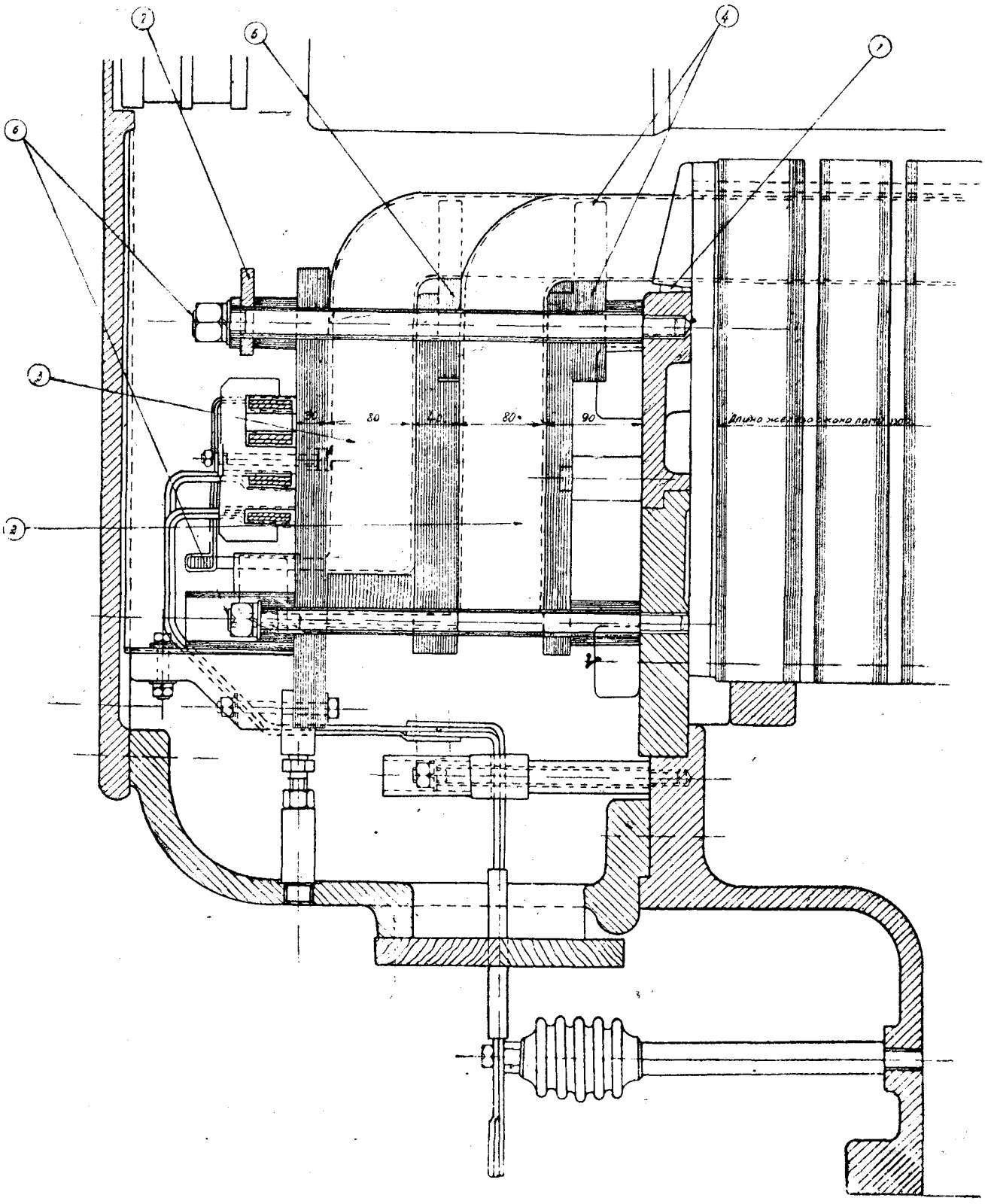


Рис. 3

железное пространство и в радиальные каналы между пакетами статорного железа. На рисунке ротора, имеющемся на электростанции, указаны отверстия в каппе (в бандаже), предназначенные для усиления вентиляции лобовых частей; однако в действительности таких отверстий не имеется.

Обмотка ротора выполнена голой алюминиевой шиной; изоляция между обмоткой и железом, а также между отдельными витками состоит в основном из миканита. Разрез паза показан на рис. 10. В пазу уложено два ряда по 15 проводов в каждом ряду. Размер провода 15×7,4 mm. В качестве демпферной обмотки служат клинья, закрывающие пазы с обмоткой. Эти клинья выполнены из твердотянутой меди и по выходе из пазов охватываются по всей окружности ротора кольцевой шиной тоже из красной меди (рис. 14, деталь 5); каждый клин припаян к этой шине. Применение пайки для соединения демпферных стержней, вообще говоря, нежелательно, потому что при несимметричной нагрузке (например, при нагрузке на водяной реостат для определения расхода пара на киловаттчас), а также при одно- и двухполюсных коротких замыканиях в демпферной обмотке наводятся токи под влиянием обратно синхронного поля реакции якоря. Эти токи могут достигать значительной силы и нагреть места пайки до температуры плавления припая. В практике имели место подобные случаи с машинами, снабженными проволочным бандажем. Поверх медной шины, к которой припаяны концы клиньев, одевается каппа, плотно охватывающая шину по окружности. При вращении ротора под влиянием центробежной силы клинья и шина плотно прижимаются друг к другу

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

и к каппе, т. е. в данном случае разогревание припая может и не быть опасным.

4. Подшипники. Подшипники генератора имеют, как обычно, смазку под давлением. Изоляции между телом подшипника и вкладышем или между фундаментной плитой и подшипником не имеется. Внутри полости подшипника могут образоваться пары масла, для удаления которых служит маленький вентилятор, расположенный между подшипником генератора и возбудителем (рис. 1 деталь *8*; рис. 11, деталь *1*). Между подшипником и вентилятором устроен лабиринт, препятствующий засасыванию масла вентилятором (рис 1, деталь *9*; рис. 11, деталь *2*).

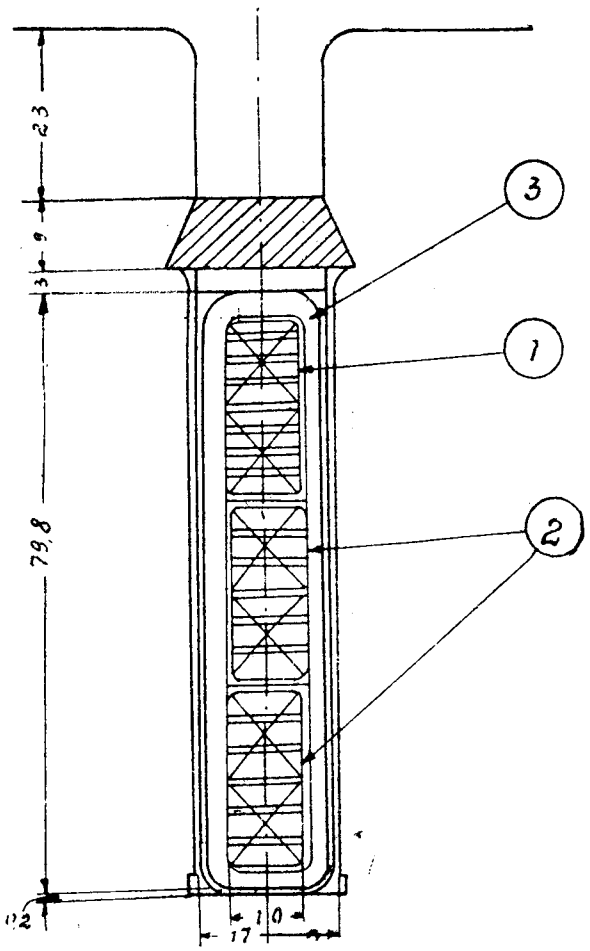


Рис. 4

5. Возбудитель. Возбудитель насажен на генераторном валу, конусообразно обточенном на конце. Он представляет собой шунтовой генератор с дополнительными полюсами; положение щеток неизменно для всех нагрузок. Охлаждающий воздух подается вентилятором (рис. 11, деталь *4*), укрепленным на якоре возбудителя со стороны генератора. Следует отметить оригинальную систему охлаждения коллектора и щеток. По охлаждении якоря и обмоток возбуждения воздух попадает в пустотельные пальцы щеткодержателя (рис. 11, деталь *5*) и оттуда на щетки и поверхность коллектора. Таким путем достигается усиленное охлаждение щеток и коллектора и улучшаются условия работы их, благодаря сильному сдуванию угольной и медной пыли.

6. Соединительная муфта. Наконец, следует отметить еще одну характерную особенность конструкции описываемого генератора. Это—соединительная муфта между генератором и турбиной. Особенность этой муфты состоит в том, что она снабжена специальными латунными болтами, рассчитанными таким образом, что при возникновении чрезмерно

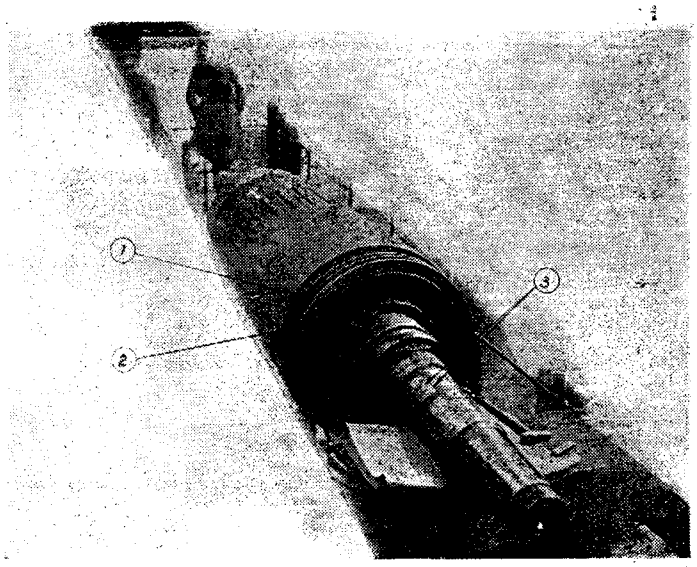


Рис. 6. Общий вид ротора с вентиляторами. *1*—радиальный вентилятор для охлаждения статора, *2*—аксиальный вентилятор для ротора, *3*—следы направления баббита и из'едания шейки вала

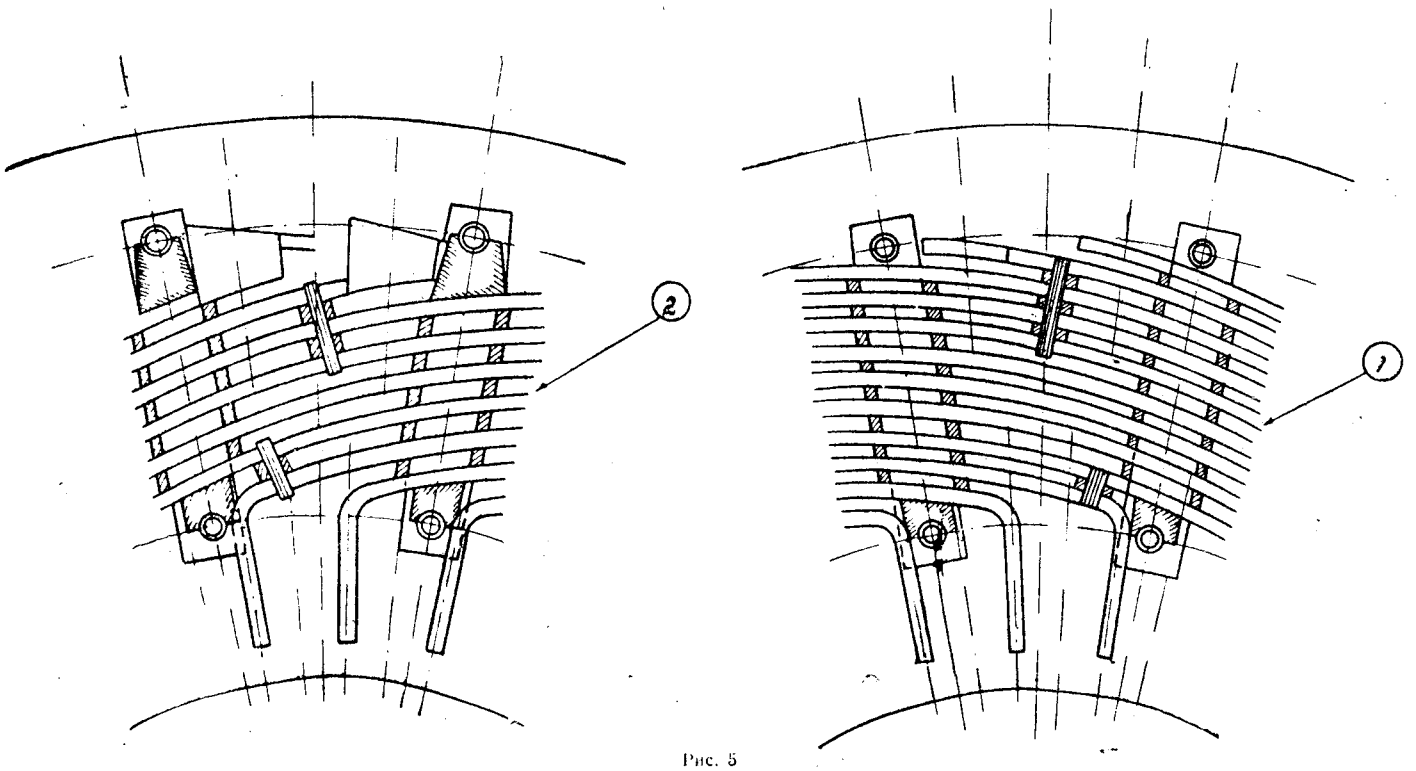


Рис. 5

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

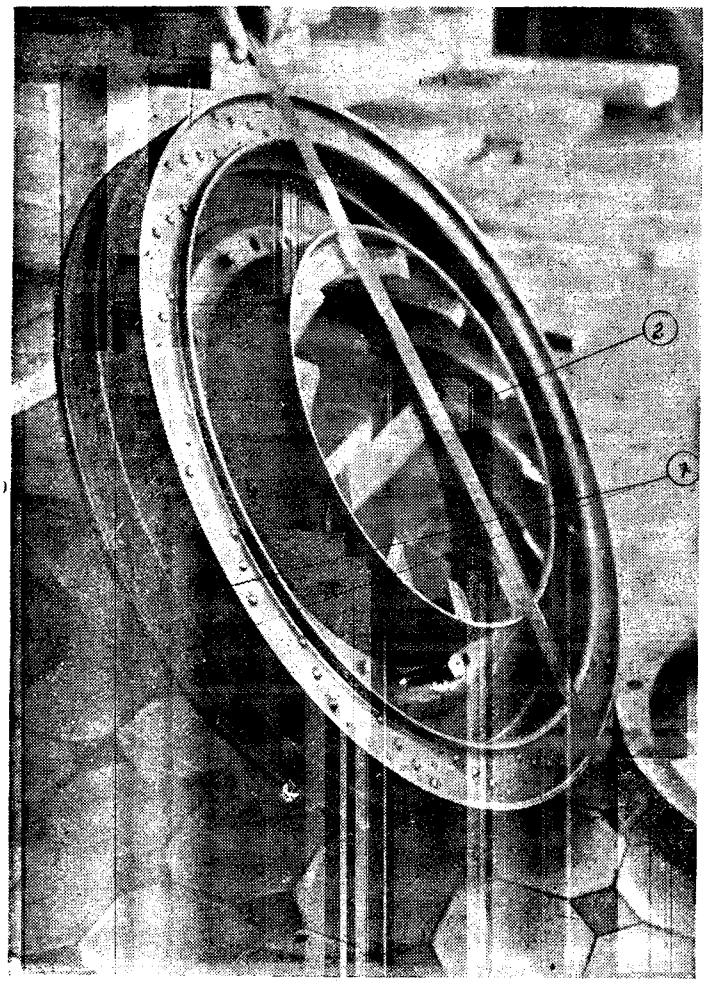


Рис. 7. Вентилятор, снятый с ротора. *1*—радиальный вентилятор для охлаждения статора, *2*—аксиальный вентилятор для охлаждения ротора

большого крутящего момента (например, при неправильной синхронизации) эти болты срезаются, чем предотвращается возможность поломки вала. Случая, который дал бы возможность судить, насколько эта конструкция удовлетворяет поставленной цели, в эксплоатации еще не было.

Ненормальности в работе

1. Искрение щеток на кольцах. По сообщениям станционного персонала, искрение щеток наблюдалось с первых же дней работы генератора, пока он окончательно не был пущен в эксплоатацию, причем монтерам фирмы пришлось возиться некоторое время, пока была достигнута безыскровая работа. Когда же, наконец, весь запас фирменных щеток истощился и они были заменены щетками Кудиновского завода, никакого искрения их уже не наблюдалось. Однако и эти щетки работали без искрения около 3 недель. Затем они начали искрить; сначала—на кольце со стороны турбины, а спустя

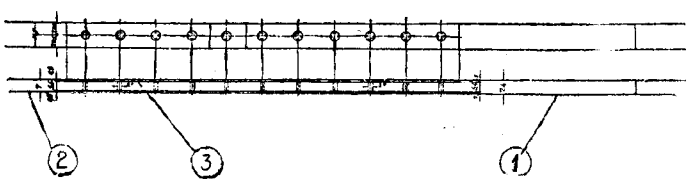


Рис. 8

несколько дней—и на втором кольце со стороны возбудителя. Вскоре искрение стало весьма интенсивным, контактная поверхность колец в короткий срок значительно изнашивалась, причем искрение сопровождалось сильным нагреванием щеток (в некоторых случаях докрасна), т. е. приходилось останавливать турбогенератор и обтачивать и шлифовать кольца. Обточка и шлифовка колец, а также частная протирка их в работе временно прекращали или, по крайней мере, ослабляли искрение, но спустя 2—3 недели интенсивность искрения, нагрев щеток и изнашивание колец настолько усиливалось, что снова вынуждали к остановке машины и к новой обточке.

Была сделана попытка заменить часть щеток более мягкими но и это дало временное улучшение.

Также была произведена перемена полярности колец; причем было замечено, что положительное кольцо дает большее искрение, чем отрицательное. Так продолжалась работа генератора более трех месяцев, пока не были получены из-за границы щетки, применяемые фирмой „Oerlikon". После замены всех щеток новыми, рекомендуемыми фирмой, искрение прекрати-

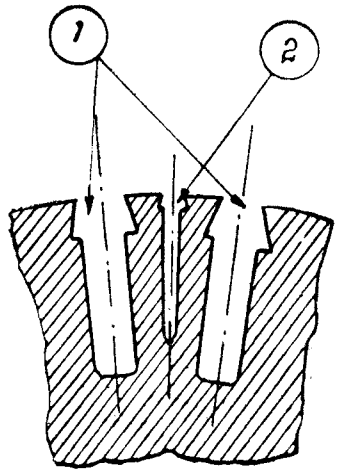


Рис. 9

лось и не возобновлялось приблизительно 10—15 дней, но затем искрение вновь появилось, а с ним началось усиленное срабатывание контактной поверхности колец, что вскоре вынудило остановить генератор и проточить одно кольцо (положительное). Все же работа с этими щетками была более длительная, чем при щетках Кудиновского завода, и срабатывание контактной поверхности колец и обточка их были реже. В дальнейшем все явления сами собой несколько ослабели и, в конце концов, по истечении нескольких месяцев искрение прекратилось.

При этом, что необходимо отметить, плотность тока даже возросла, так как вначале генератор работал с неполной нагрузкой, которая постепенно увеличивалась. Когда все фирменные запасные щетки снова были израсходованы, то приш-

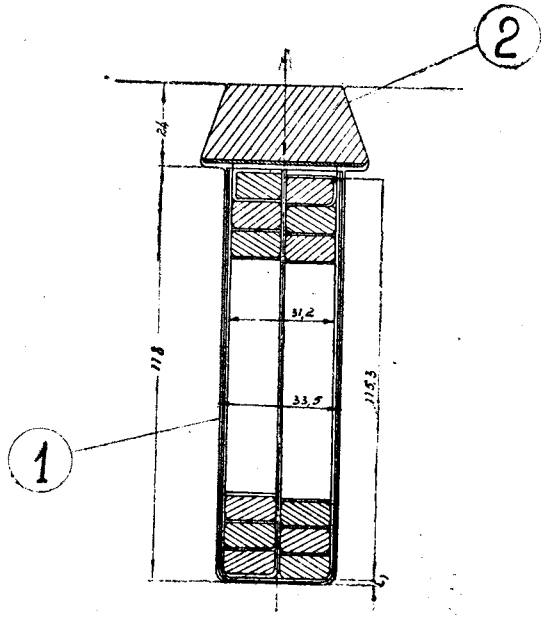


Рис. 10

лось их заменить щетками советского производства. При этом замена всех щеток была произведена не сразу, а по одной, по мере снашивания каждой отдельной щетки. Подбирая подходящую твердость, эксплоатационному персоналу удалось сохранить удовлетворительную работу щеток, и последнее время, вплоть до аварии, генератор работал без искрения.

В период „неустановившегося состояния" работы щеток, когда были установлены заграничные щетки, но искрение, тем не менее, все же имело место, ВЭИ произвел некоторые наблюдения и опыты над работой щеток. Эти опыты пришлось ограничить простейшими измерениями из-за невозможности

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

экспериментировать на генераторе, работающем круглые сутки. На основании произведенных измерений можно было установить следующее:

1 Работа щеток в обычных условиях эксплоатации: а) плотность тока около 4,5 A/cm² вместо номинальной около 8 A/cm². б) удельное давление около 0,15 kg/cm² вместо номинального 0,20 kg/cm²; в) падение напряжения в переходном сопротивлении 0,7—1,0 V в зависимости от состояния контактной поверхности; г) смазка колец жиром не производится, хотя фирменная инструкция рекомендует смазку.

2. Влияние различных факторов на искрение: а) влияние удельного давления: при увеличении давления до номинального и выше искрение уменьшается. При этом, однако, сила тока была, по условиям эксплоатации, ниже номинальной; б) влияние плотности тока: при уменьшении плотности тока ниже приблизительно 3 A/cm² искрение прекращается; в) влияние смазки: при смазывании колец вазелином искрение уменьшается, но не прекращается.

Одной из причин искрения могла быть еще вибрация щеткодержателя, но последующая работа без искрения показала, что это предположение мало вероятно. Причиной начала искрения при вновь отшлифованных кольцах могли служить крупинки пыли, и особенно, угольной, попадающие в машинный зал с угольного двора и из труб котельной (унос).

Все упомянутые опыты и наблюдения привели к выводу, что материал колец (сплав типа бронзы) заметно подвержен электролитическому действию тока и что раз начавшееся искрение быстро его разрушает. Этот материал работает удовлетворительно лишь при тщательном подборе сорта щеток, что в условиях эксплоатации весьма неудобно, так как подбор щеток, особенно в настоящее время, затруднителен. В общем, работа щеток была признана крайне неустойчивой и зависящей от целого ряда случайных причин.

2. Ослабление изоляции обмотки ротора. При пуске турбогенератора в эксплоатацию, сопротивление изоляции обмотки ротора было 15 MΩ. Впоследствии измерения

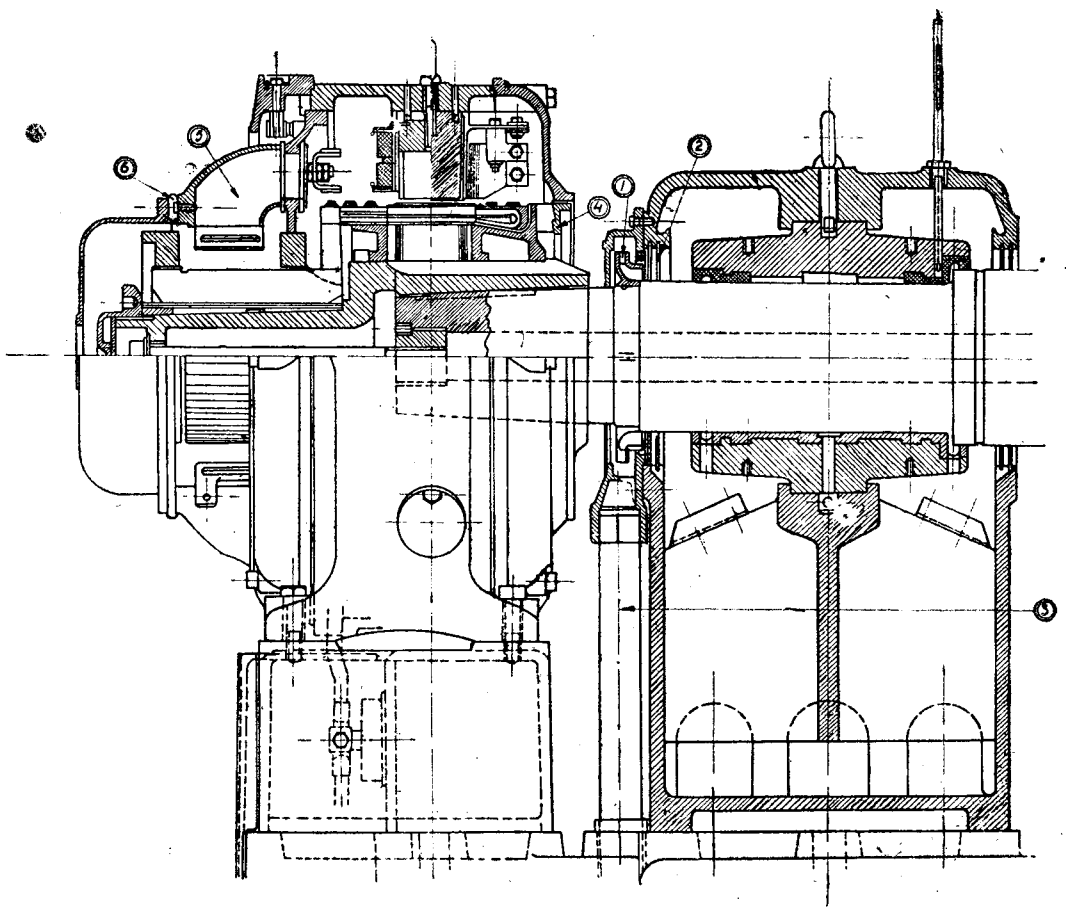


Рис. 11

Смазка колец рекомендуется некоторыми фирмами потому, что она способствует более спокойной работе щеток, так как при этом сила трения делается почти постоянной.

Кроме того, была проверена работа надрезанных щеток. В последнее время в литературе были опубликованы исследования, освещающие условия работы щеток несколько подробнее, чем это было до сих пор. Между прочим, эти исследования показали, что устройство надрезов на контактной поверхности щеток улучшает их работу (особенно при больших окружных скоростях) и устраняет искрение вследствие интенсивного охлаждения контактной поверхности и выдувание газов и мельчайших частиц из слоя соприкосновения щеток с контактным кольцом. При этом предполагается, что контакт щетки вообще осуществляется не всей площадью соприкосновения, а только отдельными точками, число которых при наличии надрезов не уменьшается, а увеличивается. Практика показала, что эта мера в данном случае не уменьшала искрения. Произведенные ВЭИ опыты подтвердили это заключение и кроме того показали, что падение напряжения и нагревание щеток в данном случае не уменьшились от наличия надрезов.

Далее, эти опыты установили, что положение щетки в щеткодержателе, по мере износа щетки, практически остается неизменным, так как точка приложения силы давления пружины не смещается при износе щетки, а остается неизменной; игра щетки в щеткодержателе вполне достаточна и в то же время не чрезмерна.

производимые станционным персоналом, давали примерно такие же результаты до тех пор, пока появилось искрение. Первое измерение, сделанное в период искрения (при помощи индуктора) показало полное заземление. Так как это измерение было сделано непосредственно после обточки и шлифовки колец, то такой результат мог быть об'яснен просто запылением металлической пылью боковых стенок кольца и проводника, соединяющего кольцо с обмоткой и проложенного внутри вала. Однако после тщательной очистки измерение изоляции дало те же результаты, и в дальнейшем сопротивление изоляции, по данным измерений станционного персонала, не поднималось выше 0,2 MΩ.

В мае 1930 г. одновременно с исследованием работы щеток ВЭИ произвел измерения изоляции обмотки ротора. Эти измерения были произведены в горячем и в холодном состоянии обмотки как на неподвижном роторе, так и при вращении его. Эти опыты, с одной стороны, подтвердили правильность результатов полученных персоналом станции (сопротивление изоляции было порядка 0,2—0,3 MΩ) и, с другой стороны, показали, что это сопротивление не изменяется от влияния центробежной силы и расширения обмотки при нагревании.

Ослабление сопротивления изоляции могло быть прежде всего об'яснено запылением или проникновением влаги, однако, не было оснований предполагать, что в обмотку ротора может проникать пыль в более или менее значительном количестве, так как турбогенератор имеет замкнутую систему

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

лаждения, и по сообщениям эксплоатационного персонала никаких неплотностей в системе не замечалось. То же самое можно было сказать и относительно влаги, могущей проникнуть через неплотности в воздухоохладителе. Поэтому пришлось искать других об'яснений. С этой целью было произведено исследование нагревания обмотки ротора в обычных условиях эксплоатации. Исследование показало, что температура обмотки, измеренная по методу сопротивления, не превышает 60° С, в то время как для данного класса изоляции является допустимой температура 15° С. Детальный просмотр записей станционного журнала показал, что такие условия нагрузки сохранялись все время и ни о каких перегрузках не могло быть и речи. Правда, был случай, когда охлаждающий воздух (нагретый после генератора) нагревался до температуры, выше допустимой, и привел в действие сигнальное устройство. Это произошло вследствие загрязнения воздухоохладителя, что было немедленно устранено и нормальная работа охладителя восстановлена. Таким образом можно было установить, что обмотка ротора не подвергалась чрезмерным температурам и это не могло быть причиной ослабления изоляции.

Другой возможной причиной ослабления изоляции обмотки ротора могло быть некоторое разрушение изоляции под влиянием незначительных прогибов вала при вращении. Подобные случаи в практике наблюдались и приводили к протиранию изоляции под каппой и у выхода обмотки из паза. Далее, можно было предположить, что в эксплоатации допускались размыкания цепи возбуждения (например, при смене щеток), что могло вызвать образование значительной э. д. с. самоиндукции и повести к ослаблению изоляции[1]). Однако никаких указаний на подобные случаи не только систематические, но и единичные, в станционном журнале не удалось обнаружить. Наконец, оставалось еще предположить, что на изоляцию ротора могли повлиять значительные механические усилия, возникающие при коротком замыкании. Просмотр станционного журнала показал, что случаи короткого замыкания не часты и короткое происходит через трансформатор.

Осенью 1930 г. при производстве ревизии турбины вновь вернулись к этому вопросу с тем, чтобы констатировать ослабление изоляции обмотки ротора и совместно решить, следует ли снять каппы ротора для отыскания дефекта в изоляции. Для этого был произведен ряд измерений, причем все опыты пришлось на этот раз делать при вынутом неподвижном роторе. Эти измерения были произведены как в холодном, так и в горячем состоянии, причем температура обмотки была доведена до 100° С, что примерно соответствует средней годовой температуре при полной нагрузке генератора. Кроме того, чтобы в дальнейшем легче было сравнивать результаты измерений, производимых при разных напряжениях, на этот раз измерения изоляции были выполнены при нескольких напряжениях.

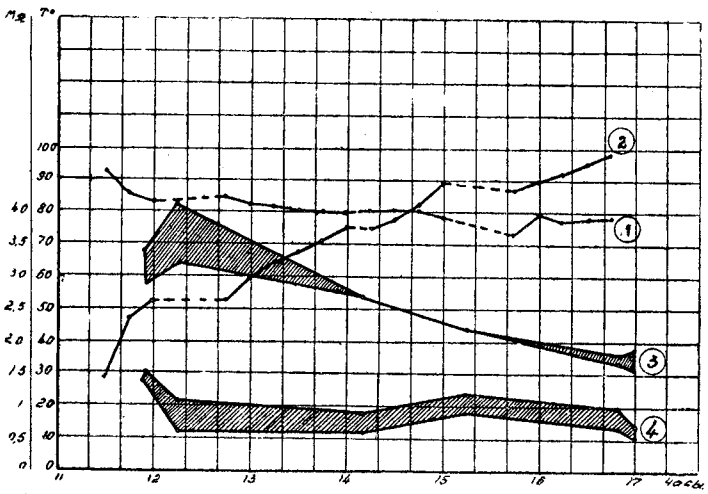


Рис. 12

Результаты измерений показали, что сопротивление изоляции не только не уменьшилось против результатов 1930 г., но даже несколько увеличилось. Между прочим, произведенные в этот раз измерения наглядно показывают зависимость сопротивления изоляции от температуры и от величины приложенного напряжения и, кроме того, дают картину нагревания неподвижного ротора (ротор был покрыт тряпками). Наконец, эти опыты указывают на влияние емкостных токов при измерении изоляции. Так, на рис. 12 действительные величины сопротивления изоляции лежат где-то в пределах, ограниченных двумя кривыми, которые построены по точкам наблюдений. Эти точки получаются несовпадающими вследствие того, что при измерениях напряжение источника тока несколько колебалось, чем было вызвано изменение емкостных токов, которые, накладываясь на ток проводимости, искажают результаты измерений изоляции. При этом емкостью является конденсатор, одна обкладка которого—обмотка ротора, а вторая—тело ротора, диэлектрик конденсатора—изоляция обмотки.

Так как все указанные соображения—влияние на результат измерения изоляции температуры, величины приложенного напряжения и его постоянства—представляют вообще интерес для практических работников электрохозяйства, то на этом мы остановились несколько подробнее и даем результаты полностью.

1. Измерение сопротивления изоляции в холодном состоянии до опыта нагревания при 20° С.

При напряжении 1 000 V—сопротивление изоляции 0,35 MΩ
" " 500 " " " 0,50 " "
" " 4 " " " >1 " "
" " (120 = 240 V результаты даны на рис. 12).

2. Измерение в течение нагревания от 20 до 100° С.

Результаты приведены на рис. 12. При напряжениях 1000, 500 и 4V измерения не производились.

3. Измерение после нагревания при ~100° С.

При напряжении 1 000 V—сопротивление изоляции 0,30 MΩ.
" " 500 " " " 0,35 " "
" " 4 " " " >1 " "
" " (120 = 240 V результаты даны на рис. 12).

Произведенные измерения показали, что сопротивление изоляции обмотки ротора несколько увеличилось против результатов весны 1930 г. (было около 0,3 MΩ при 4 V). О заземлении обмотки, собственно, и нельзя было говорить, можно было лишь констатировать ослабление изоляции. Поэтому, учитывая необходимость как можно скорее пустить генератор в эксплоатацию, было решено каппы не снимать. Сопротивление изоляции было признано пониженным против обычно наблюдаемого в аналогичных машинах.

3. Попадание масла в возбудитель. Как было указано выше, турбогенератор имеет специальный вентилятор (рис. 1, деталь *8*; рис. 11, деталь *1*) для отсасывания паров масла из полости генераторного подшипника и специальную систему охлаждения щеток и коллектора возбудителя (рис. 11, деталь *4* и *5*).

Эти оригинальные конструкции в совместном действии в эксплоатации принесли немало неприятностей. Дело в том, что всасывающая сторона вентилятора возбудителя обращена в сторону расположения вентилятора, отсасывающего пары масла. Последний для предупреждения засасывания масла из генераторного подшипника отделен от него лабиринтом и с другой стороны имеет уплотнение. Тем не менее, при малейшем нарушении плотности последнего, несмотря на лабиринт, вентилятор возбудителя начинает засасывать масло из генераторного подшипника и выбрасывает его внутрь возбудителя. При этом больше всего страдает коммутация, так как масло непосредственно направляется по пути охлаждающего воздуха, через пустотелые пальцы щеткодержателя, прямо на коллектор. Начинается сильное искрение, и приходится останавливать генератор и усиливать уплотнение. Такие остановки имели место несколько раз, что чрезвычайно болезненно отражается на эксплоатации. Кроме непосредственного влияния на коммутацию, попадание масла сказывалось еще и другим путем. Из рис. 11 видно, что к кольцам щеткодержателя примыкает кольцо из изоляционного материала (рис. 11, деталь *6*). Это кольцо изолирует торцовую крышку (закрывающую возбудитель) от пальцев. При просачивании масла через уплотнение, даже настолько незначительном, что это не отражается на коммутации возбуждения, на поверхности изоляционного кольца постепенно скапливается масло, образуя тонкий, липкий слой. Одновременно благодаря той же оригинальной системе охлаждения щеток и коллектора угольная и металлическая пыль, сдуваемая охлаждающим воздухом с коллектора, попадает на это же изоляционное кольцо и оседает там на липком слое масла. Таким образом между разноименными кольцами образовывается металлический мостик и возникает перекрытие его, что сопровождается остановкой машины и значительным повреждением кольца. Подобное явление имело место в эксплоатации два раза.

Для усиления уплотнения станционным персоналом был изготовлен специальный щит из листовой латуни, который плотно пригоняется при установке. Этот щит в течение известного времени удовлетворительно защищал возбудитель от проникновения масла.

[1]) Величина э. д. с. размыкания зависит от степени демпфирования.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В заключение описания дефектов конструкции можно еще упомянуть о дефекте в монтаже. Монтаж выполнен таким образом, что ротор не может быть вынут до тех пор, пока статор не будет несколько приподнят. На рис. 1 видно, что статор стоит на подложенных под него бревнах. Это происходит вследствие того, что подшипник генератора не может быть снят, так как его анкерные болты зацементированы наглухо. Подшипник мешает выдвиганию ротора, и поэтому, когда нужно вынуть ротор, приходится разболчивать фундаментальные болты статора и приподнимать его, затем прокладывать бревна и только тогда можно вынимать его.

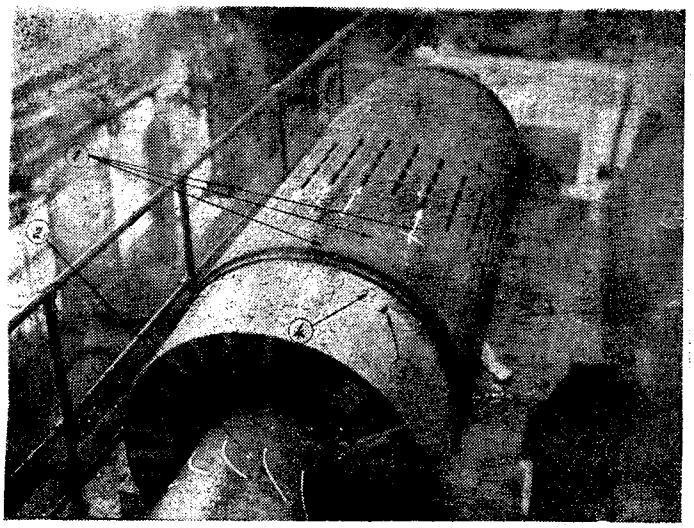


Рис. 13. Вид ротора с торца со снятым вентилятором и каппой. *1*—вентиляционные каналы между пазами (закрыты клиньями); каналы, покрытые нагаром, отмечены белыми стрелками, *2*—направление лопаток аксиального вентилятора для охлаждения ротора, *3*—прожженное отверстие в слое изоляции под каппой, в котором был обнаружен кусок меди, оторвавшийся от перемычки, *4*—второе прожженное отверстие

Авария ротора

Картина аварии представляется следующим образом: турбогенератор № 5 работал параллельно с турбогенератором № 3 мощностью 2 250 kW. Генератор № 5 нес нагрузку 8 000 kW при $\cos\varphi = 0{,}69$: ток возбуждения был 338 А. Никаких ненормальностей в работе генератора не наблюдалось. Также не было никаких ненормальностей в работе сети.

Совершенно внезапно появилась сильная вибрация. Машинист у турбогенератора, пытаясь установить причину вибрации, бросился к подшипнику и муфте, предполагая там повреждение. Одновременно дежурный у щита бросился к приборам турбогенератора № 5 и в первый момент обнаружил, что приборы генератора показывают нормально, и что короткого замыкания в сети, как он предполагал, нет. Спустя несколько секунд, напряжение генератора и нагрузка упали до нуля (по щитовым приборам) и вслед за этим дежурный у щита выключил масляные выключатели обоих турбогенераторов и ввел шунтовые реостаты возбуждения. Сразу же после сброса нагрузки вибрация совершенно прекратилась; число оборотов турбогенератора № 5 стало быстро подниматься, что и привело в действие скоростной автомат, который закрыл пар. Число оборотов начало падать, и машинист от руки закрыл масляный кран стопорного клапана для полной остановки турбогенератора [1]). Одновременно с этим была восстановлена нормальная работа турбогенератора № 3, и часть нагрузки была снова включена. Так как после сброса нагрузки турбогенератор № 5 работал (останавливаясь) совершенно спокойно, то, учитывая это, решено было снова открыть пар и поднять число оборотов до нормального, что и было сделано без появления каких-либо ненормальностей. Тогда была сделана попытка возбудить генератор, но это не удалось; при полном выведении и закорачивании шунтового реостата напряжение генератора оставалось на нуле. При этом ток в роторе при включенном автоматическом выключателе, закорачивающем сопротивление в цепи (гаситель поля), и полностью введенном шунтовом реостате был 90 А, а затем, когда был выведен шунтовой реостат, ток не увеличился, а снизился до 60 А. Вольтметр возбудителя показывал все время нуль. Никакой вибрации больше не появлялось. Тогда было измерено сопротивление изоляции обмотки ротора индуктором, которое оказалось равно нулю, генератор был остановлен и сняты торцовые крышки. Никаких наружных повреждений на роторе не было замечено. Измерение сопротивления обмотки между кольцами и между каждым из колец и валом указало на полное короткое замыкание и заземление обмотки. Между валом и кольцом пропускался ток до 150 А, причем никаких явлений вроде дуги, дыма, шума и т. п. не наблюдалось. После этого турбогенератор был еще раз развернут, и возбудитель, отсоединенный от колец, был возбужден вполне нормально и к его зажимам было присоединено внешнее сопротивление того же порядка, что и у обмотки ротора до аварии. По этому сопротивлению был пропущен от возбудителя ток до 300 А. Опыт указал на полную исправность возбудителя, и таким образом имелась авария только ротора. Прибывшими сотрудниками ВЭИ было установлено, что сопротивление между кольцами составляет 0,050 Ω, а между каждым кольцом и валом по 0,025 Ω. Так как сопротивление обмотки до аварии было 0,0366 Ω при той же температуре, то можно было заключить, во-первых, что коротко замкнуто, примерно, 86% витков, что при 300 витках составляет 258 витков, и, во вторых, что от каждого кольца до места короткого имеется одинаковое число здоровых витков, примерно по 21 витку. Таким образом было предположено, что переходное сопротивление короткого замыкания равно нулю. После этого ротор был вынут.

Осмотр вынутого ротора обнаружил следующее: один из воздушных каналов, расположенных в зубцах ротора между пазами, имел на внутренних стенках налет, повидимому от пламени дуги, начиная от каппы со стороны возбудителя и до перегородки в середине длины ротора. Этот канал отмечен перечеркнутой белой стрелкой на рис. 6 (см. также рис. 13). Остальные каналы, отмеченные на рисунке белыми стрелками, также имели налет, но более слабый. По расположению пазов от большого зуба (низ рисунка) ротора было установлено, что канал, имеющий наиболее сильный налет, лежит между пазами, в которых уложены стороны больших катушек обмотки соответственно одному и другому полюсу ротора. Концы этих катушек имеют выводы для присоединения соответственно к первому и второму кольцам. Это заключение совпадало, примерно, с вышеприведенными результатами измерения сопротивлений. Далее, осмотр обнаружил еще следующее: на каждой шейке вала имелось наплавление баббита по окружности, и сами шейки в этих местах были из'едены.

Чтобы более полно выяснить степень аварии обмотки, с вала ротора был снят вентилятор со стороны возбудителя. Это давало возможность видеть лобовые части и обмотки снизу в отверстия, расположенные по торцовой стенке каппы, по которым проходит охлаждающий воздух от аксиального вентилятора. Осмотр внутренней поверхности лобовых частей обмотки через эти отверстия обнаружил, что там имеется перемычка, которая перегорела. По рисунку ротора было установлено, что эта перемычка соединяет малые катушки обмотки каждого из полюсов ротора.

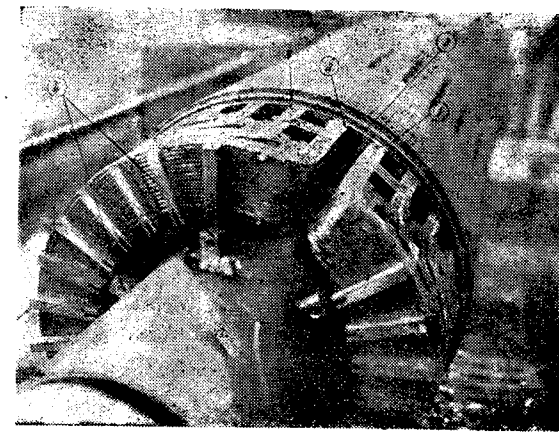


Рис. 14. Вид ротора с торца со снятой каппой. *1*—выжженное углубление верхнего ряда витков (рядом с этим местом в толще снятой изоляции был обнаружен кусок меди, оторвавшийся от перемычки); *2*—выжженное углубление верхнего ряда витков 2-й катушки, *3*—вентиляционный канал в зубце между пазами, наиболее сильно покрытый нагаром, *4*—пальцы, ввинченные в тело вала, к которым крепится каппа, *5*—медное кольцо, замыкающее демпферную обмотку из клиньев

Результаты осмотра и произведенных опытов показали, что, повидимому, имеется значительное повреждение обмотки ро

[1]) Конструкция статорного клапана такова, что после действия скоростного автомата пар автоматически снова включается, как только число оборотов понизится до некоторой определенной величины, если масляный кран не будет закрыт от руки.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

тора, и таким образом возникает вопрос о производстве в кратчайший срок необходимого ремонта.

2. Снятие капп и осмотр повреждения. Снятие капп было произведено путем ввинчивания в торцовую стенку каппы двух диаметрально расположенных отжимных болтов, упирающихся при этом в пальцы, укрепленные на валу

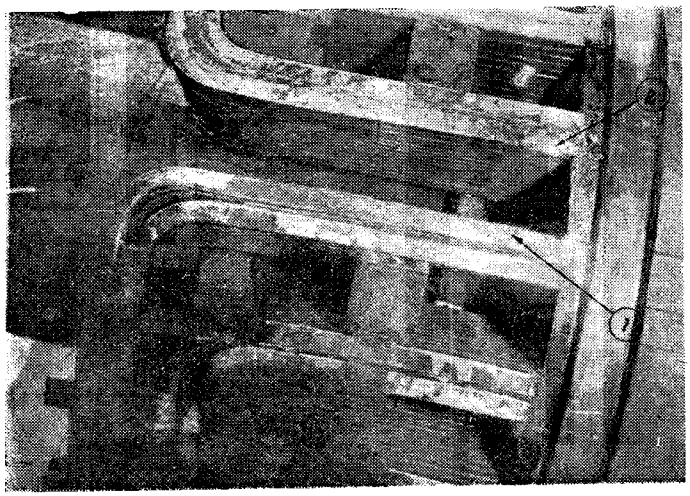


Рис. 15. Лобовая часть обмотки ротора (вид сверху). *1*—обозначения те же, что на рис. 14.

(рис. 14, деталь *4*). Предварительно каппы были разогреты при помощи паяльных ламп. Первоначально была снята каппа со стороны возбудителя, так как повреждение было обнаружено с этой стороны. Вид ротора со снятой каппой показан на рис. 13. Лобовые части обмотки изолированы от каппы миканитом, поверх которого проложен прессшпан. В этой изоляции были обнаружены два прожженных отверстия (рис. 13, деталь *3* и *4*): одно—непосредственно у выхода обмотки из паза над витками большой катушки одного полюса и второе, расположенное аналогично по отношению к виткам другой большой катушки второго полюса. На внутренней поверхности снятой каппы, против указанных отверстий в прессшпане, были обнаружены наплавления. Повидимому в этих местах лобовые части витков были приварены к каппе. Такое предположение было подтверждено тем, что при нормальном подогреве каппы ее трудно было снять. Для того чтобы обнажить лобовые части обмотки, прессшпан и миканит были сняты, причем в толще этой изоляции был обнаружен кусок меди, показанный на рис. 18 (деталь *3*) и рис. 19 (деталь *4*). После снятия изоляции, охватывающей лобовые части, были осмотрены витки обмотки. Осмотр показал, что под отверстиями, прожженными в изоляции, верхние стержни обмотки выгорели (рис. 14 и 15, деталь *1* и *2*). Выжженное углубление

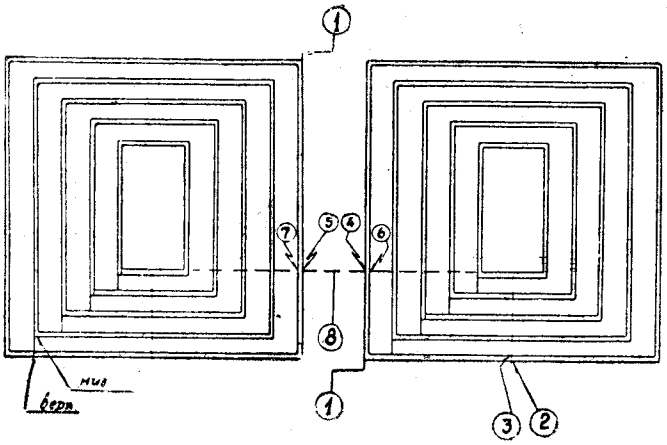


Рис. 16

имело форму плоской воронки, глубина достигала почти полной толщины стержня, по наружной поверхности выгорание распространялось на 4—5 cm. На остальных лобовых частях обмотки следов выгорания не было обнаружено. Затем была осмотрена нижняя поверхность лобовых частей, и здесь были обнаружены также два аналогичных выгоревших углубления на нижних стержнях тех же катушек и в тех же рядах, в которых имелось выгорание сверху. На рис. 17 (деталь *3*) показано одно углубление, выжженное в нижнем стержне, второе углубление, выжженное в нижнем стержне второй катушки, на рис. 17 не видно. Непосредственно под местами выгорания нижних стержней находились концы перегоревшей перемычки (рис. 17, деталь *1*).

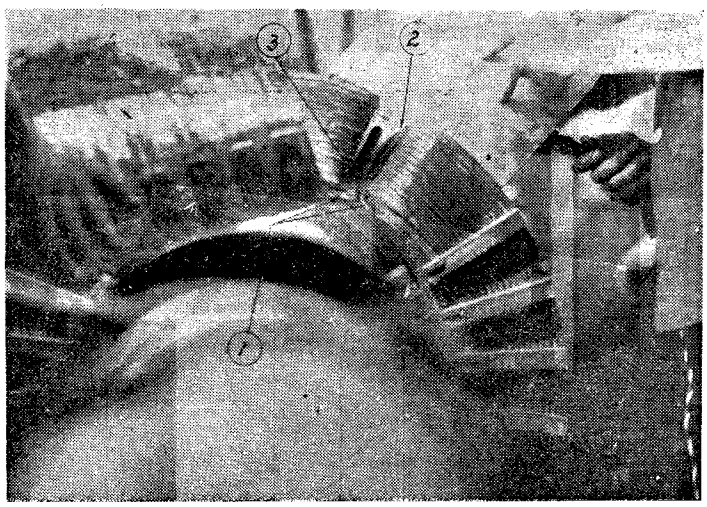


Рис. 17. Вид разорванной перемычки с торца ротора. *1*—концы разорванной перемычки, *2*—выжженное углубление верхнего ряда винтов (рядом с этим местом в толще снятой изоляции был обнаружен кусок меди, оторвавшийся от перемычки), *3*—выжженное углубление нижнего ряда витков над перемычкой

Кроме указанных повреждений на лобовых частях были замечены налеты на местах, соответствующих входу охлаждающего воздуха в каналы, в которых еще раньше был замечен налет. Перегоревшая перемычка соединяет обе малые катушки обмотки каждого из полюсов. Схема обмотки ротора изображена на рис. 16, и на ней нанесены места выгорания стержней и перегоревшая перемычка. Следует заметить, что упомянутые повреждения находятся в лобовой части, а не в пазу ротора, как это кажется по схеме. Из последней видно, что каждая большая катушка соединяется с кольцом, причем на каппу были замкнуты верхние стержни наружных рядов больших катушек, т. е. отступя 15 витков (считая от каждого кольца). Таким образом коротко замкнуто было всего 270 витков, или 90% всей обмотки.

Перегоревшая перемычка была вынута, для чего пришлось разложить часть витков и распаять соединения ее с медными стержнями, выходящими из больших катушек (эти стержни, в

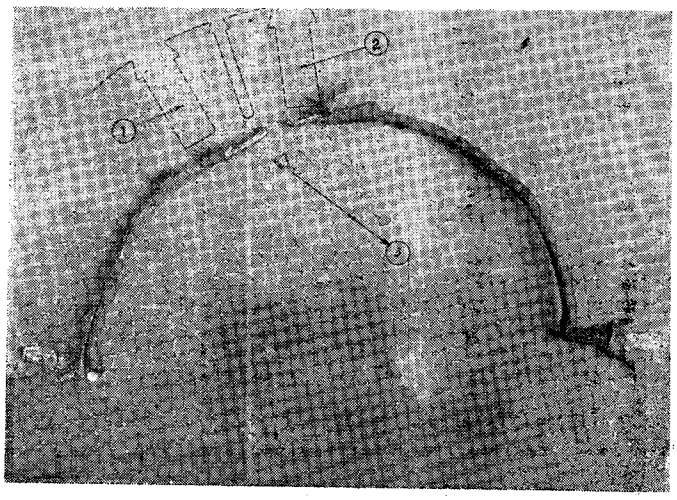


Рис. 18. Вид вынутой перемычки. *1*—паз, в котором уложена одна сторона большой катушки одного полюса, соединенная с одним кольцом, *2*—паз, в котором уложена одна сторона большой катушки другого полюса, соединенная с другим кольцом, *3*—оторвавшийся кусок меди

свою очередь, соединяются с алюминиевыми стержнями обмотки при помощи заклепок, см. описание генератора). Вынутая перемычка изображена на рис. 18. Разрыв перемычки произошел в месте сращивания двух ее половин. Сращивание было выполнено следующим образом: обе половины перемыч-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ки были соединены впритык и поверх была одета медная гильза (рис. 19, деталь *1*) и в таком состоянии это было все пропаяно оловом. Изоляция перемычки (рис. 20 и рис. 19) состоит из полоски материала Tischpopier, наложенной на медь. Поверх этой полоски наложен слой миканита (на стороне, прилегающей к обмотке) и все это оплетено хлопчатобумажной лентой. Поверх ленты уложен прессшпан и все вновь оплетено хлопчатобумажной лентой.

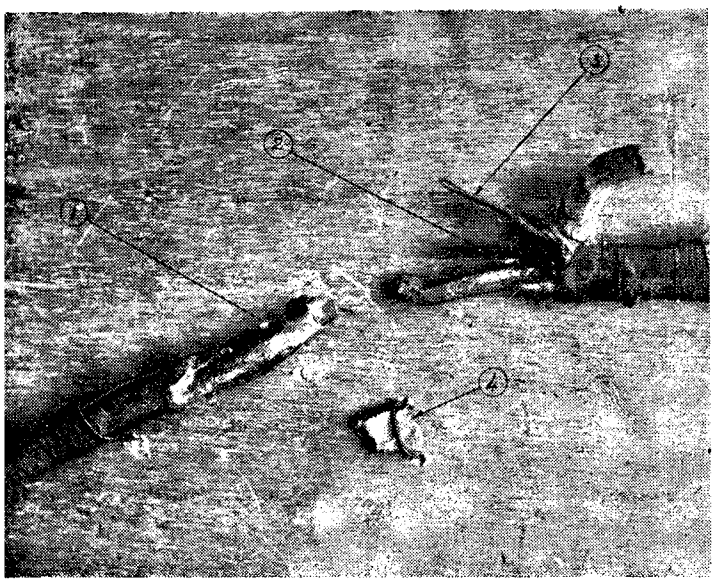


Рис. 19. Место разрыва, *1*—гильза, *2*—миканит, *3*—прессшпан

3. Заключение по аварии. Прежде чем было дано заключение по аварии, были рассмотрены условия эксплоатации, так или иначе могущие вызвать аварию. Такими условиями могли быть: а) перегрузка, б) короткие замыкания и в) загрязнение.

а) Перегрузка. Перегрузка могла сказаться на изоляции перемычки и на самой пайке в смысле ослабления их прочности от высоких температур. При этом имеется в виду чрезмерное нагревание обмотки вообще, а не только перемычки, что могло происходить от плохого контакта, а не вследствие перегрузки.

Детальный просмотр журнальных записей за несколько последних месяцев показал, что о перегрузке не может быть и речи, так как генератор работал все время даже с недогрузкой, т. е. температура обмотки ротора не поднималась выше 70—80°. Лишь в самое последнее время нагрузка возросла и температура обмотки могла доходить до 90—95° С, в то время как допустимой максимальной температурой для данного класса изоляции является 115° С. Таким образом предположение о перегреве перемычки вследствие перегрузки отпадает.

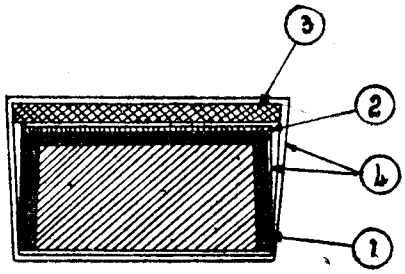


Рис. 20

б) Короткие замыкания. При коротком замыкании генератора в обмотке ротора наводятся токи переходного режима значительной величины. На рис. 21 приведена осциллограмма короткого замыкания турбогенератора № 5 при холостом ходе и номинальном напряжении. Из этой осциллограммы видно, что мгновенное значение тока ротора в переходный период достигает 1 700 А, в то время как при установившемся состоянии ток равен 148 А. Так как механические усилия между токонесущими частями изменяются пропорционально квадрату силы тока, то естественно, что при коротком замыкании перемычка, находясь в магнитном поле близлежащих витков, подвергалась значительным усилиям. Эти усилия могли смещать перемычку относительно витков обмотки, к которым она была прижата центробежной силой и вызвать, таким образом, протирание изоляции.

Однако число коротких замыканий у данной машины не может быть признано большим, чем это имеет место в обычной эксплоатации, на что генератор вообще бывает обычно рассчитан. Кроме того, при замыканиях на линии ток короткого всегда меньше благодаря реактансу трансформатора и линии. Поэтому нет основания считать, что авария могла произойти вследствие частых коротких замыканий.

в) Загрязнение. После снятия каппы в лобовых частях обмотки было обнаружено много пыли, и так как обмотка ротора выполнена неизолированной шиной, то можно было предположить, что первопричиной аварии послужила пыль, которая вызвала перекрытие. При этом перекрытие могло произойти или по поверхности перемычки, или по внутренней поверхности изоляции под каппой. В первом случае картина аварии может быть представлена следующим образом: по поверхности перемычки, прилегающей к нижним виткам больших катушек обоих полюсов (рис. 17), между которыми действует полное напряжение возбуждения, скопилась пыль и вызвала перекрытие между внутренними витками. Под влиянием центробежной силы дуга должна была отброситься к периферии и в дальнейшем быть выдута в воздушные каналы. Под влиянием теплоты дуги мог расплавиться спай перемычки или могла пострадать изоляция ее, отчего образовалось бы новое короткое. Вышеприведенное предположение, однако, мало вероятно, так как пыль едва ли могла удержаться на внешней поверхности перемычки; под действием центробежной силы эта пыль должна была бы отлетать к периферии. Поэтому более вероятно второе предположение, что перекрытие произошло вследствие имевшейся пыли на внутренней поверхности изоляции под каппой между внутренними верхними витками тех же больших катушек. Однако невозможно, чтобы образовавшаяся при этом дуга могла расплавить перемычку или повредить изоляцию, так как дуга действовала сверху, а перемычка находилась внизу; под влиянием центробежной силы и потока воздуха дуга должна была быть быстро выдута в вентиляционные каналы и никак не могла переместиться в сторону перемычки. Точно так же невозможно, чтобы расплавление перемычки произошло от увеличивающегося тока благодаря короткому замыканию, так как этот ток проходил бы помимо перемычки. Таким образом запыление не могло послужить причиной аварии.

Вышеприведенные фактические данные и логические рассуждения указывают, что условия эксплоатации сами по себе не могли вызв ть аварию и не способствовали ее возникновению. Оставалась одна лишь причина, именно недостаточная прочность соединения перемычки. Это могло произойти от неудовлетворительной пайки, вследствие чего механическая

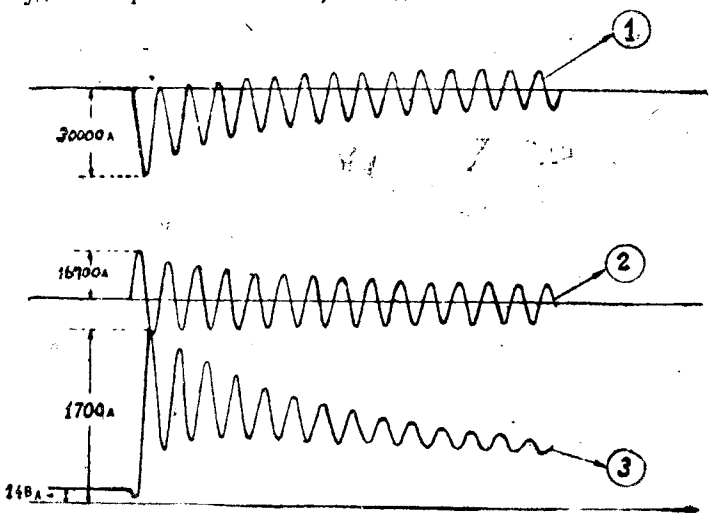


Рис. 21

прочность соединения была ослаблена; кроме того, дальнейшее ослабление прочности спая могло произойти от высокой температуры, развивающейся даже при неполной силе тока, благодаря плохому контакту. Под действием центробежной силы перемычка подвергалась изгибу, как балка на многих опорах, причем опорами служили витки обмотки, к которым перемычка плотно прилегала. Вследствие этого перемычка в месте спайки подвергалась разрывающему усилию и в конце концов была разорвана.

Протекание аварии может быть представлено следующим образом. Как только произошел разрыв между концами разделившихся половин перемычки образовалась вольтова дуга. Эта дуга сейчас же начала выдуваться сильным потоком охлаждающего воздуха, идущего от аксиального вентилятора в воздушные каналы ротора. Однако разрыв дуги не мог про-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

изойти сразу, тем более, что напряжение на концах перемычки благодаря наличию самоиндукции должно быть значительным, во всяком случае большим, чем напряжение возбуждения. Поэтому, пока дуга была задута, имелось достаточно времени для повреждения нижних частей обмотки и концов перемычки. Повреждение это выразилось в выгорании нижних витков и в подплавлении концов перемычки, причем от одного конца под влиянием центробежной силы оторвался надплавленный кусок. Последний с большой силой ударил по изоляции под каппой, пробил и прожег ее, соединив при этом обмотку с корпусом. Кроме этого большого куска оторвались еще мелкие частички (брызги), которые также были отброшены центробежной силой к внутренней поверхности

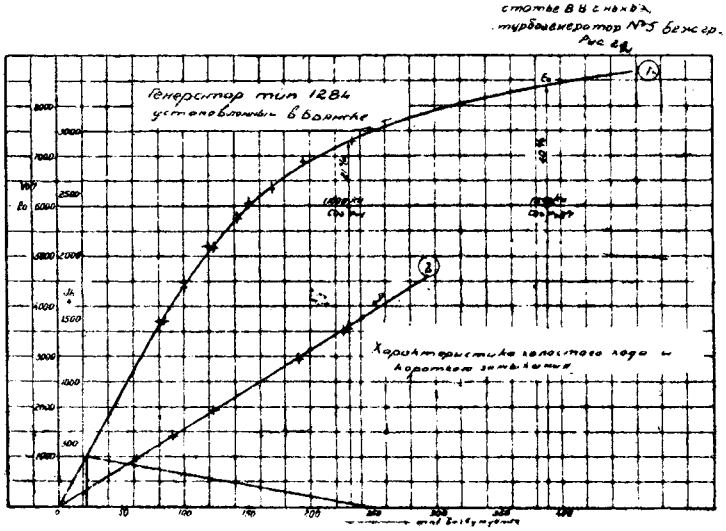


Рис. 22

изоляции и прожгли ее, образовав второе место соединения с корпусом и тем самым создав короткое замыкание (двойное заземление), отчего в этих местах появилась новая дуга и обмотка приварилась к каппе. Возможно и другое об'яснение образования второго заземления: дуга между концами перемычки, выдуваясь кверху, на некоторое время задержалась над изоляцией и выжгла верхние витки, повредила изоляцию и образовала вторичное соединение с корпусом. Так или иначе, образовавшееся двойное заземление представляло собой почти полное короткое замыкание, что и привело к падению напряжения возбудителя до нуля, так как возбудитель имел чисто шунтовое возбуждение.

Появление вибрации было вызвано асимметрией магнитного потока ротора, имевшей место во время протекания процесса аварии, в течение которой вольтова дуга замыкала различные участки обмотки. Когда этот процесс окончился и наступил установившийся режим аварии, то асимметрия магнитного потока исчезла, потому что короткозамкнутые витки были расположены симметрично относительно оси полюсов. Оплавление вкладышей подшипников и из'едание шеек вала может быть об'яснено токами в подшипниках, появившихся при нарушении магнитной симметрии ротора.

Осмотр ротора при снятых каппах и произведенные измерения дают основания считать, что то ослабление изоляции ротора, которое наблюдалось до аварии, отчасти зависело от пыли и отчасти от состояния изоляции, закрывающей лобовые части обмотки и лежащей под каппами. Измерение изоляции, произведенное при снятии капп индуктором на 500 V, дало такие же результаты.

	Кольцо со стороны возбудителя относительно вала	Кольцо со стороны турбины относительно вала
Снята каппа со стороны возбудителя	0,50 MΩ	0,44 MΩ
Сняты обе каппы	2,00 „	5,00 „
То же после тщательной продувки сжатым воздухом	7,5 „	> 100 „

4. Ремонт. Для ремонта потребовалась размотка обеих катушек (неполностью); клинья выбивались молотком. Места выгорания на стержнях обмотки были вырезаны, и обрезанные концы наварены чистым алюминием и вместе сварены. Для этого была изготовлена из листового железа разборная гильза из двух корытообразных половин. В одной половине было сделано отверстие, куда добавлялся алюминий при сварке. Оба свариваемые конца были заложены с обоих концов гильзы, и затем центральная часть гильзы разогревалась автогенной горелкой. Временами добавлялся чистый алюминий, пока все пространство внутри гильзы между свариваемыми концами было заполнено жидким алюминием. После сварки, по очистке заусенцев напильником, место соединения представляло совершенно однородное тело. Изоляция как в пазу, так и на лобовых соединениях была поставлена новая. Для прессования обмотки были, изготовлены металлические струбцинки. Соединение перемычки было выполнено так же, как и прежде, только на этот раз была поставлена цельнотянутая гильза и в ней были просверлены отверстия для лучшего заполнения оловом. Перемотанные катушки лаком не покрывались и не запекались. От лакировки монтер отказался потому, что в станционных условиях не имеет смысла лакировать обмотку, так как трудно удалить влагу и пыль, неизбежно проникшие в обмотку при перемотке. После перемотки балансировать ротор не потребовалось. Ремонт занял около 10 дней, не считая разборки и сборки машины.

6. Испытание. После перемотки ротора для оценки качества ремонта были произведены измерения изоляции, испытание на пробой, измерение омического сопротивления и испытание на нагревание. Испытание на пробой делалось напряжением пониженно против нормированного для новой машины: вместо $2\varepsilon + 1\,000 = 1\,400$ V было взято 1 000 V. Испытание делалось до одевания каппы и затем по одевании каждой каппы в отдельности продолжительность каждого испытания была одна секунда. Обмотка эти испытания выдержала и никаких поверхностных разрядов не наблюдалось. Относительно опасности испытания на пробой машин, бывших в эксплоатации, в настоящее время нет определенного мнения. Наряду с мнением, что при эксплоатации машины диэлектрическая прочность ее изоляции уменьшается и испытание на пробой опасно, так как еще больше ослабляет изоляцию, в последнее время имеется и другой выход, сводящийся к тому, что после каждого приложения напряжения изоляция отдыхает и ее диэлектрические свойства восстанавливаются. С этой точки зрения было вполне допустимо произвести испытание перемотанного ротора на пробой. Измерение омического сопротивления дало результаты, совпадающие с результатами измерений, произведенных ВЭИ весной 1930 г. Это указывало на то, что не приходится опасаться междувиткового замыкания. Однако для большей уверенности были еще сняты характеристики холостого хода и короткого замыкания с тем, чтобы сравнить их с данными испытаниями на заводе Oerlikon. При наличии междувиткового соединения характеристика короткого замыкания должна быть ниже той, которая снята при вполне исправной обмотке, и, таким образом, можно установить наличие замыкания витков. Этот способ очень чувствительный, в то время как измерение омического сопротивления в промышленных условиях вообще невозможно (за исключением метода компенсации, редко доступного на станции) точнее $1^1/_2$—2%. С другой стороны, при междувитковом замыкании вибрации может и не быть, если магнитная симметрия не нарушена. Результаты опыта даны на рис. 22, где на характеристики, данные фирмой, нанесены точки опыта ВЭИ. Как видно, эти точки вполне совпадают с кривыми, что доказывает отсутствие междувиткового замыкания.

Испытание на нагреве было произведено почти при полной нагрузке (ток ротора был в среднем 380 A вместо номинального 390 A). При пересчете на полную нагрузку, превышение температуры обмотки ротора получилось около 80° C, что является нормальным для данного класса изоляции. Измерение изоляции производилось несколько раз до одевания капп, после их одевания при неподвижном роторе и при его вращении. Все эти измерения, произведенные в холодном состоянии, дали, приблизительно 9 MΩ. Таким образом можно было заключить, что при вращении никаких смещений обмотки не появляется. Измерение изоляции в горячем состоянии после опыта на нагрев дало в результате 1,2 MΩ. Эта величина является несколько меньшей, чем для аналогичных вполне исправных машин, для которых сопротивление изоляции в среднем порядка 6 MΩ в горячем состоянии при измерении индуктором на 500 V. Однако сама по себе величина сопротивления изоляции ничего не говорит об абсолютном состоянии ее диэлектрических свойств и вполне возможен случай, когда сопротивление изоляции обмотки будет порядка десятков мегомов, а при приложении напряжения в 1 500 V изоляция будет пробита. Возможно и обратное: изоляция, выдержавшая испытание на пробой, при измерении сопротивления может дать величины порядка сотых долей мегома. Эти результаты зависят от величины поверхности утечки и проводимости слоя изоляции. Величина сопротивления изоляции не нормирована, в американских нормах имеется формула, дающая минимальный предел сопротивления изоляции в зависимости от мощности и напряжения машины, но эта формула относится к стандартным обмоткам. На основании всех этих соображений и приведенных выше результатов испытаний было признано воз-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

можным пустить генератор в эксплоатацию и ремонт считать удовлетворительным. Пониженная величина сопротивления изоляции может быть об'яснена запылением и проникновением влаги во время ремонта. Возможно, что с течением времени изоляция улучшится, с одной стороны, благодаря высушиванию обмотки и, с другой стороны, благодаря заполнению пустот лаком, выделяющимся из миканита.

Основные выводы

1. Фирма „Oerlikon" выполнила соединение перемычки недостаточно прочно, что и привело к аварии. (При испытании диэлектрической прочности изоляции обмотки ротора на заводе „Oerlikon" изоляция была пробита. Возможно, что для исправления повреждения от пробоя потребовалось распаивать перемычку и последующая спайка была выполнена недостаточно тщательно.)

2. Перемычка имеет пайку в середине, причем спайка производится, когда ротор обмотан и место спая находится в трудно доступном положении под лобовыми частями обмотки. Поэтому конструкция перемычки должна быть признана неудачной.

3. Оригинальная конструкция коллектора и щеток возбудителя и наличие вентилятора для отсасывания паров масла требует дополнительной конструктивной разработки уплотнения между подшипником генератора и возбудителем.

4. При составлении технических условий заказа более подробно, чем это у нас практикуется, нужно оговаривать детали и возможные неисправности и возлагать на поставщика материальную ответственность за невыполнение условий.

Реактивности синхронных машин

В. И. Иванов

Для вычисления токов короткого замыкания синхронных машин существует ряд формул, сводившихся по существу к виду:

$$I_k = k\frac{E}{x_k},$$

где x_k—реактивное сопротивление машины при коротком замыкании. Ток короткого замыкания I_k обратно пропорционален реактивности x_k; поэтому установление величины последней представляет основную задачу при вычислении I_k. Величина x_k не одинакова для начального и установившегося тока короткого замыкания и различна в разных по конструкции машинах. Поэтому для вычисления силы тока короткого замыкания в разные моменты времени и для разных машин вводят в расчет разные реактивности, присваивая им разные наименования.

Является необходимым ввести точные и однообразные для всех синхронных машин определения реактивностей, зависящие только от их физической природы; это даст возможность избежать при вычислении I_k затруднений в установлении величины x_k. Целью настоящей статьи является установление физической сущности отдельных реактивностей и введение русской терминологии; в заключение приводятся некоторые методы опытного определения реактивностей.

При общем случае несимметричного короткого замыкания синхронной машины несимметричную систему токов разлагают на три симметричных системы: положительной, отрицательной и нулевой последовательности фаз. Для протекания токов каждой из этих систем машина и сеть представляют неодинаковое реактивное сопротивление; сопротивления различают для токов положительной, отрицательной и нулевой последовательности фаз. В чистом виде эти сопротивления проявляются при протекании лишь одной соответствующей им системы токов: в общем случае несимметричного короткого замыкания величины токов каждой из систем зависят от всех сопротивлений.

I. Реактивности для токов положительной последовательности фаз

Реактивность при установившемся режиме. В машинах с явно выраженными полюсами при данной силе тока якоря поток реакции якоря зависит от угла ψ—угла сдвига между фаз э. д. с. холостого хода E и током I. Для учета влияния угла ψ разлагают э. д. с. якоря на две составляющие: продольную $AW_{ad} = AW_a \sin\psi$ и поперечную $AW_{aq} = AW_a \cos\psi$: каждая из них создает магнитный поток, проходящий по пути, отличающемся магнитным сопротивлением и насыщением, вследствие чего эти потоки не связаны пропорциональностью с вызвавшей их э. д. с.: $\frac{\Phi_{ad}}{AW_{ad}} \neq \frac{\Phi_{aq}}{AW_{aq}}$. Последнее, вообще говоря, справедливо и для машин с цилиндрическим ротором, если магнитная цепь основного потока полюсов насыщена (поэтому в диаграмме Potier производится суммирование ампер-витков полюсов и реакции якоря, а не потоков, вызванных этими ампер-витками в отдельности, когда условия насыщения были бы иными, чем в действительности).

Таким образом во всех типах машин (при учете насыщения) изменение напряжения в продольной и поперечной оси машины, вызванное реакцией якоря, не одинаково, вследствие чего все дальнейшие рассуждения будем вести, основываясь на диаграмме Blondel-Arnold-la-Cour. Продольная ось магнитной цепи совпадает с осью полюсов, поперечная—перпендикулярна к ней, соответственно чему имеем продольный и поперечный поток машины. Электродвижущие силы отстают на 90° от вызвавших их потоков, поэтому продольная э. д. с. совпадает с поперечной осью потока, а поперечная—с продольной. Активная составляющая тока $I\cos\psi$ совпадает с направлением создаваемого ею потока, в данном случае поперечного, вследствие чего и называется поперечной составляющей тока I_q; реактивная составляющая $I\sin\psi$ представляет продольную составляющую I_d.

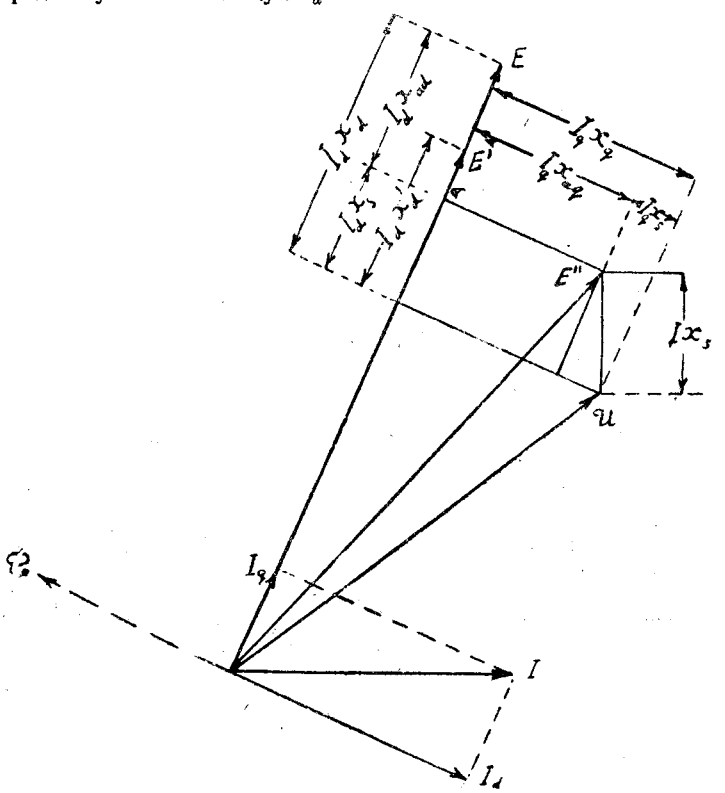


Рис. 1

Падение напряжения от активного сопротивления оказывает ничтожное влияние на величину тока короткого замыкания, поэтому им пренебрегаем. Тогда полные изменения напряжения в продольной и поперечной оси, вызванное как реакцией якоря, так и потоками рассеяния, соответственно равны (рис. 1):

$$\left.\begin{aligned}\Delta E_d &= x_s I_d + E_{sd} = x_s I_d + x_{ad} I_d = x_d I_d\\ \Delta E_q &= x_s I_q + E_{rq} = x_s I_q + x_{aq} I_q = x_q I_q\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Здесь $E_{rd} = x_{ad} I_d$ и $E_{rq} = x_{aq} I_q$—э. д. с. соответствующие продольному и поперечному потоку реакции якоря, I_d и I_q—продольная и поперечная составляющие тока, x_s—сопротивление от потоков рассеяния обмотки статора, x_{ad} и x_{aq}—сопротивления, эквивалентные реакции якоря для продольной и поперечной оси. Эквивалентные сопротивления $x_d = x_{ad} + x_s$ и $x_q = x_{aq} + x_s$ представляют собою синхронные сопротивления соответственно для продольной и поперечной оси.

Из выше сказанного следует, что в насыщенной машине $x_d \neq x_q$; с изменением тока возбуждения x_d и x_q изменяются, так как изменяется насыщение; если пренебречь насыщением, то в машине с цилиндрическим ротором $x_d = x_q$.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

При установившемся симметричном коротком замыкании на зажимах машины имеем, при пренебрежении активным сопротивлением, $\psi = 90°$; так как напряжение на зажимах машины равно нулю, то полное падение напряжения равно индуктированной потоком полюсов э. д. с. E:

$$\Delta E_d = I_{dk} x_d = E;\ \Delta E = 0, \tag{2}$$

откуда

$$I_{dk} = \frac{E}{x_d}. \tag{3}$$

Здесь I_{dk}—продольная составляющая установившегося тока при трехфазном коротком замыкании; $I_{qk} = 0$. Пользуясь выражением (3), необходимо иметь в виду, что синхронная реактивность при установившемся трехфазном коротком замыкании несколько отличается от таковой же при нормальной работе (разное насыщение). Практически, однако, этой разницей пренебрегают.

Реактивности при переходных режимах. Установим предварительно некоторые положения, большинство из которых не нуждается в доказательствах.

а) Всякий магнитный поток, сцепляющийся с контуром тока, обладает инерцией; при переходных режимах, сопровождающихся изменением контактов сети, магнитный поток сцепления стремится остаться постоянным. В дальнейшем под потоком сцепления будем подразумевать такой эквивалентный поток, который, имея одинаковое число сцеплений с действительным потоком, сцепляется со всеми витками данного контура тока.

б) Способность потока сцепления поддерживать постоянной свою величину обусловлена добавочными уравнительными токами, индуктированными в замкнутых контурах. Физически это явление может быть описано следующим образом. При возникающем изменении потока сцепления вследствие изменения режима сети магнитные линии потока пересекают связанный с ним контур тока, вследствие чего в контуре индуктируются электротоки самоиндукции. По закону Ленца они всегда направлены таким образом, что создаваемые ими магнитные линии имеют такое направление, что всегда компенсируют изменение потока сцепления. Если электротоки самоиндукции (уравнительные) поддерживаются неизменной величины, то поток сцепления остается постоянным; для этого необходимо наличие постоянно индуктируемой э. д. с. В большинстве случаев такой э. д. с. нет и уравнительные токи затухают по закону $e^{-t/T}$, где $T = L, R$ — постоянная времени, R — активное сопротивление, а L—коэфициент самоиндукции контура; по этому же закону уменьшается и поток сцепления. Вследствие этого о постоянстве магнитного потока сцепления можно говорить только в начальный момент переходного режима.

в) Существование всякого потока обусловлено исключительно сцепляющимся с ним током, связанным соотношением $IL = \Phi$ Таким образом, если имеется магнитный поток, сцепляющийся с рядом контуров, то в одном из контуров должен быть соответствующий потоку ток, причем наличие индуктированной э. д. с. не обязательно. Вводя вместо L реактивное сопротивление $jx = j\omega L$, получаем

$$Ijx = j\omega\Phi. \tag{4}$$

Из этого выражения не трудно видеть, что сила тока I при данном потоке Φ не зависит от угловой частоты ω; поэтому в дальнейшем при определении I будем потокам, в действительности вращающимся с разной скоростью, приписывать одну и ту же скорость ω.

г) Все потоки сцепления относятся к обмотке статора. По току, сцепляющемуся с обмоткой возбуждения $\Phi_n = w_n \Psi$, где Ψ—число магнитных линий, соответствует ток в обмотке возбуждения $ijx_n = ij\omega w_n \Psi$; относя этот поток к обмотке статора, получаем

$$ijx_n = \frac{w}{w_n} = j\omega w \Psi = j\omega\Phi = E, \tag{5}$$

где E=э. д. с. холостого хода статора; Ψ—выражаем V sec; w_n и w—число витков обмотки возбуждения и обмотки статора.

д) Поток полюсов, потоки реакции и рассеяния якоря для токов положительной последовательности фаз неподвижны по отношению к ротору и вращаются с угловой скоростью ω по отношению к статору.

е) Положительное направление оси мнимых составляющих будем считать совпадающим с направлением продольного потока, оси вещественных составляющих—с направлением поперечного потока.

Рассмотрим генератор с явно выраженными полюсами, снабженный успокоительной обмоткой. При холостом ходе весь продольный поток, входящий из полюсов в якорь Φ_d (поток междужелезного пространства), сцепляется с успокоительной обмоткой; в последней при равномерном вращении ротора нет тока. Поперечный поток $\Phi_q = 0$. Поток, сцепляющийся с обмоткой возбуждения Φ_n, больше потока междужелезного пространства на величину потока рассеяния полюсов Φ_{sn}:

$$\Phi_n = \Phi_d + \Phi_{sn} = \Phi_d(1+\sigma), \tag{6}$$

где $\sigma = \Phi_{sn}/\Phi_d$—коэфициент рассеяния. При нагрузке генератора током $I_n = I_q - jI_d$, поток междужелезного пространства (сцепляющийся с успокоительной обмоткой) в продольной оси равен $\Phi_d - \Phi_{aq}$, в поперечной—Φ_{aq}. Здесь Φ_{ad} и Φ_{aq}—потоки реакции якоря в продольной и поперечной оси. Поток, сцепляющийся с обмоткой возбуждения, равен:

$$\Phi_n = \Phi_d - \Phi_{ad} + \sigma\Phi_d. \tag{7}$$

Если на зажимах машины, нагруженной током I_n, происходит внезапное трехфазное короткое замыкание, то для начала короткого замыкания можно считать, что потоки сцепления всех замкнутых обмоток остаются постоянными за счет индуктированных в них уравнительных токов. Поток, сцепляющийся с успокоительной обмоткой в продольной оси, равен теперь (рассеянием успокоительной обмотки пренебрегаем, вследствие его малости):

$$\Phi_d - \Phi_{ad} - \Phi'_{ad} + \Phi'_d + \Phi''_d,$$

здесь Φ'_{ad}—добавочный поток реакции якоря, вызванный разностью токов $I_{vd} - I_d$; Φ'_d и Φ''_d—добавочные потоки, созданные уравнительными токами соответственно в успокоительной обмотке и в обмотке возбуждения; I_{vd} и I_d—составляющие тока короткого замыкания и нагрузки в продольной оси. По принятому нами предположению токов, сцепляющийся с успокоительной обмоткой остается равным прежней величине, т. е.

$$\Phi_d - \Phi_{ad} - \Phi'_{ad} + \Phi'_d + \Phi''_d = \Phi_d - \Phi_{ad}, \tag{8}$$

откуда

$$\Phi'_d + \Phi''_d - \Phi'_{ad} = 0. \tag{9}$$

Подобным образом можем написать для поперечной оси:

$$\Phi_{aq} + \Phi'_{aq} - \Phi'_q = \Phi_{aq}, \tag{10}$$

откуда

$$\Phi'_{aq} - \Phi'_q = 0. \tag{11}$$

Поток, сцепляющийся с обмоткой одной фазы статора, равен[1])

$$[j(\Phi_d + \Phi'_d + \Phi''_d - \Phi_{ad} - \Phi'_{ad} - \Phi'_{sd}) + (\Phi_{aq} + \Phi'_{sq} + \Phi'_{aq} - \Phi'_q)]\cos\omega t,$$

где Φ'_{sd}—поток рассеяния статора в продольной оси, Φ'_{sq}—в поперечной, остальные обозначения те же, что и выше. Если короткое замыкание происходит в момент, когда полный поток (продольный и поперечный), сцепляющийся с обмоткой данной фазы, равен нулю ($\cos\omega t = 0$), то

$$[j(\Phi_d + \Phi'_d + \Phi''_d - \Phi_{ad} - \Phi'_{ad} - \Phi'_{sd}) + (\Phi_{aq} + \Phi'_{sq} + \Phi'_{aq} - \Phi'_q)]\cos\omega t = 0.$$

Принимая во внимание уравнения (9) и (11), получаем, спустя четверть периода после начала короткого замыкания ($\cos\omega t = 1$):

$$j(\Phi_d - \Phi_{ad} - \Phi'_{sd}) + (\Phi_{aq} + \Phi'_{sq}) = 0. \tag{12}$$

Здесь потоки реакции Φ_{ad} и Φ_{aq} обусловлены только токами предшествовавшей короткому замыканию нагрузки, потоки рассеяния Φ'_{sd} и Φ'_{sq}—токами короткого замыкания. Умножая уравнение (12) на $j\omega$ по уравнениям (4) и (5), получаем:

$$(E - I_d x_{ad} - I_{vd} x_s) - j(I_{vq} x_s + I_q x_{aq}) = 0; \tag{13}$$

величина $\Phi_d \omega = w\Psi\omega$ численно равна э. д. с. холостого хода.

Принимая во внимание, что $(jI_{vq} + I_{vd})x_s = (I_{vq} - jI_{vd})jx_s$, находим величину начального тока короткого замыкания:

$$I_{vq} - jI_{vd} = I_{vo} = \frac{E - I_d x_{ad} - jI_q x_{aq}}{jx_s}. \tag{14}$$

Для получения амплитуды начального тока это выражение надо умножить на $\sqrt{2}$. Подставляя вместо E величину[2])

$$E = \dot{U} + I_d(x_s + x_{ad}) + jI_q(x_s + x_{aq}), \tag{15}$$

где $\dot{U}$—напряжение на зажимах машины, получаем:

$$I_{vo} = \frac{\dot{U} + I_d x_s + jI_q x_s}{jx_s}. \tag{16}$$

Если короткое замыкание происходит при максимальном значении полного потока сцепления с данной фазой статора ($\cos\omega t = 1$), то

[1]) Приведенной здесь и ниже формулой мы условно показываем, что некоторый результирующий поток сцепления, представляющий геометрическую сумму двух находящихся в квадратуре составляющих, изменяется во времени по закону косинуса.

[2]) Вектор $\dot{U}$ состоит из вещественной и мнимой составляющих: $\dot{U} = Ue^{-j\delta}$, где δ—угол между E и U.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

$$[j(\Phi_d+\Phi'_d+\Phi''_d-\Phi_{ad}-\Phi'_{ad}-\Phi'_{sd})+(\Phi_{aq}+\Phi'_{sq}+\Phi'_{oq}-\Phi'_q)]\cos\omega t=(j\Phi_d-j\Phi_{ad}+\Phi_{aq}-j\Phi_{sd}+\Phi_{sq})e^{-t/T}, \quad (17)$$

здесь Φ'_{sd} и Φ'_{sq}—потоки рассеяния, обусловленные полным током короткого замыкания, потоки Φ_{sd} и Φ_{sq}—током нагрузки.

Спустя половину периода после начала короткого замыкания, имеем максимальное значение потока рассеяния статора равное

$$j\Phi'_{sd}-\Phi'_{sq}=j(\Phi_d-\Phi_{ad})+\Phi_{aq}+(j\Phi_d-j\Phi_{ad}+\Phi_{aq}-j\Phi_{sb}+\Phi_{sq})e^{-t/T}, \quad (18)$$

откуда, умножая это уравнение на $j\omega$, получаем:

$$(I_{vq}-jI_{vd})jx_s=(E-I_dx_{ad}-jI_qx_{aq})(1+e^{-t/T})-(I_dx_s+jI_qx_s)e^{-t/T}$$

$$\sqrt{2}(I_{vq}-jI_{vd})=I_s=\frac{\sqrt{2}(\dot U+I_dx_s+jI_dx_s)}{jx_s}(1+e^{-t/T})-(I_q-jI_d)e^{-t/T}. \quad (19)$$

I_{vo}—представляет начальное (действующее) значение составляющей переменного тока короткого замыкания, I_s—ударное (мгновенное) значение тока короткого замыкания. Спустя половину периода после начала короткого замыкания, величина $e^{-t/T}$ становится (по опытам Küdenberg) равной, примерно, 0,8, т. е.

$$I_s=\frac{\sqrt{2}(1{,}8\dot U+I_dx_s+jI_qx_s)}{jx_s}=\frac{\sqrt{2}(\dot U+I_dx_s+jI_qx_s)}{jx_s}+\frac{0{,}8\sqrt{2}\dot U}{jx_s}=\sqrt{2}I_{vo}+\frac{0{,}8\sqrt{2}\dot U}{jx_s}. \quad (20)$$

Реактивное сопротивление рассеяния статора при внезапном коротком замыкании отличается от сопротивления рассеяния при нормальной работе x_s; если проводимость для потоков рассеяния лобовых частей и можно считать одинаковой, то проводимость для потоков рассеяния через впадину и головки зубцов различна при нормальной работе и в начальный момент внезапного короткого замыкания вследствие влияния токов Фуко в железе зубцов. Учитывая это, следует написать:

$$I_{vo}=\frac{\dot U+I_dx_s+jI_qx_s}{jx''_d} \text{ и } I_s=\sqrt{2}I_{vo}+\frac{0{,}8\sqrt{2}\dot U}{jx''_d} \quad (21)$$

Реактивность x''_d может быть названа мгновенной переходной реактивностью (sub-transient reactance по американской терминологии). Влияние токов Фуко в зубцах сказывается в уменьшении x''_d по сравнению с реактивностью рассеяния статора x_s; рассеяние успокоительной обмотки (которое, несмотря на малую величину, все же оказывает свое влияние) дает эффект, аналогичный увеличению x''_d по сравнению с реактивностью x_s (влияние рассеяния успокоительной обмотки может быть учтено аналогично влиянию рассеяния обмотки возбуждения—см. ниже). Практически, однако, x''_d можно принять равной реактивности рассеяния статора; последнюю определяют как полную реактивность статора за вычетом реактивности, соответствующей полю рассеяния расточки (ohne Bohrungsfeld).

Добавочные токи, появляющиеся в обмотке возбуждения и в успокоительной обмотке с течением времени затухают, вследствие чего и соответствующие этим обмоткам потоки сцепления уменьшаются. Токи успокоительной обмотки затухают в течение 2—3 периодов, так как эти обмотки обладают малым реактивным сопротивлением по сравнению с активным (в особенности в турбогенераторах, где успокоительная обмотка обладает вообще большим активным сопротивлением). В обмотке возбуждения вследствие ее высокого индуктивного сопротивления добавочные токи затухают гораздо медленнее, в течение 2—3 сек. Поэтому по истечении 2—3 периодов поток междужелезного пространства уже не остается постоянным, в то время как поток, сцепляющийся с обмоткой возбуждения, еще можно считать постоянным. До начала короткого замыкания этот поток выражается уравнением (7) после короткого замыкания он равен:

$$\Phi_n=\Phi_d-\Phi_{ad}+\Phi''_d-\Phi'_{ad}+\sigma(\Phi_d+\Phi''_d), \quad (22)$$

где $\sigma(\Phi_d+\Phi''_d)$—поток рассеяния полюсов при коротком замыкании. Приравнивая выражения (7) и (22), находим:

$$\Phi'_{ad}-\Phi''_d=\sigma\Phi''_d, \text{ откуда } \Phi''_d=\frac{\Phi'_{ad}}{1+\sigma}. \quad (23)$$

В машинах с явно выраженными полюсами уравнительные токи, поддерживающие неизменной величину потока в поперечной оси, по истечении 2—3 периодов совершенно затухают; в машине с цилиндрическим ротором некоторый уравнительный ток продолжает существовать; однако затухание его все же велико (примерно, в 4 раза больше затухания уравнительного роторного тока в продольной оси), поэтому им можно пренебречь [Л. З.][1]). Поток, сцепляющийся с обмоткой статора (для случая короткого замыкания в момент, когда $\cos\omega t=0$):

$$j(\Phi_d-\Phi_{ad}+\Phi''_d-\Phi'_{ad}-\Phi'_{sd})+(\Phi_{aq}+\Phi'_{aq}+\Phi'_{sq})=0; \quad (24)$$

принимая во внимание уравнение (23), получаем:

$$j\left(\Phi_d-\Phi_{ad}+\frac{\Phi'_{ad}}{1+\sigma}-\Phi'_{ad}-\Phi'_{sd}\right)+(\Phi_{aq}+\Phi'_{aq}+\Phi'_{sq})=0. \quad (25)$$

Обозначая составляющую тока нагрузки в продольной оси через I_d, ток короткого замыкания—I_{vd}, те же величины в поперечной оси—I_q и I_{vq} и принимая во внимание, что

$$\Phi'_{ad}=(I_{vd}-I_d)x_{ad},$$

а

$$\Phi'_{aq}=(I_{vq}-I_q)x_{aq},$$

получаем:

$$E-I_dx_{ad}+\frac{(I_{vd}-I_d)x_{ad}}{1+\sigma}-(I_{vd}-I_d)x_{ad}-I_{vd}x_s-jI_qx_{aq}-j(I_{vq}-I_q)x_{aq}-jI_{vq}x_s=0. \quad (26)$$

Отсюда находим, приравнивая нулю, отдельно вещественные и мнимые части уравнения:

$$-jI_{vd}=I_v=\frac{E-I_d\frac{x_{ad}}{1+\sigma}}{j\left(x_s+\left(\frac{\sigma x_{ad}}{1+\sigma}\right)\right)}=\frac{E-I_d\frac{x_{ad}}{1+\sigma}}{jx'_d}. \quad (27)$$

$$I_{vq}=0. \quad (28)$$

Если подставить вместо E выражение (15), то получим:

$$I_v=\frac{\dot U+I_d\left(x_s+\frac{\sigma x_{ad}}{1+\sigma}\right)+jI_qx_q}{j\left(x_s+\frac{\sigma x_{ad}}{1+\sigma}\right)}=\frac{\dot U+I_dx'_d+jI_qx_q}{jx'_d}. \quad (29)$$

Если короткое замыкание произошло в момент, соответствующий максимальному потоку сцепления статорной обмотки, это выражение необходимо умножить на коэфициент равный в среднем 1,75 для учета уравнительного тока в статоре

$$x'_d=x_s+\frac{\sigma x_{ad}}{1+\sigma}. \quad (30)$$

Сопротивление представляет эквивалентное сопротивление, дающее величину составляющей переменного тока короткого замыкания. Это сопротивление больше сопротивления рассеяния статора на некоторую часть сопротивления реакции якоря $\frac{\sigma}{1+\sigma}x_{ad}$, эквивалентной потоку реакции якоря $\frac{\sigma}{1+\sigma}\Phi'_{ad}$. По уравнению (23) эта величина равна добавочному потоку рассеяния полюсов $\sigma\Phi''_d$, т. е. поток междужелезного пространства становится меньше на величину добавочного потока рассеяния полюсов. Это явление и учитывается сопротивлением x'_d; это сопротивление может быть названо переходной реактивностью (transient reactance). По величине x'_d близко к величине рассеяния статора, включая рассеяние через расточку статора (mit Bohrungsfeld).

На рис. 2 приведены кривые токов в статорной обмотке *a*, в обмотке возбуждения *b* и в успокоительной обмотке *c*. Пунктирные кривые *1*, *2* и *3* представляют собою затухающие уравнительные токи соответственно в статорной обмотке, обмотке возбуждения и в успокоительной.

Если находить добавочный ток короткого замыкания (накладывающийся на ток нагрузки), то из уравнения (26) получаем:

$$-j(I_{vd}-I_d)=\frac{E-I_d(x_s+x_{ad})}{jx'_d}=\frac{\dot U+jI_qx_q}{jx'_d}\cong\frac{\dot U}{jx'_d}$$

$$I_{vq}-I_q=-I_q;\ I_{vq}=0;$$

отсюда

$$I_v=-jI_{vd}\cong\frac{\dot U}{jx'_d}-jI_d=-j\left(\frac{\dot U}{x'_d}+I_d\right). \quad (31)$$

[1]) Ссылки в прямых скобках относятся к указателю литературы.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Подставляя в выражение переходной реактивности (30) $x_s = x_d - x_{ad}$, получаем:

$$x'_d = x_d - \frac{x_{ad}}{1+\sigma} \quad \text{или} \quad \frac{x_{ad}}{1+\sigma} = x_d - x'_d. \tag{32}$$

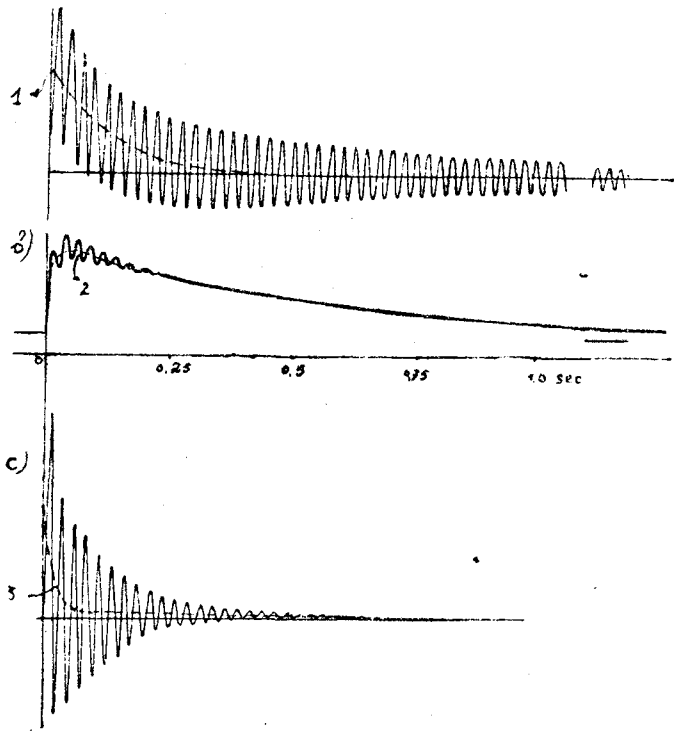


Рис. 2

Пользуясь этим выражением, получаем:

$$\dot{U} + I_d x'_d + j I_q x_q = E - I_d \frac{x_{ad}}{1+\sigma} = E - I_d (x_d - x'_d) = E'. \tag{33}$$

Величина E' представляет переходную э. д. с. Принимая во внимание, что $x''_d \approx x_s$, мы таким же путем можем определить мгновенную переходную э. д. с.

$$E'' = \dot{U} + I_d x''_d + j I_q x''_q = E - I_d (x_d - x''_d) - j I_q (x_q - x''_q). \tag{34}$$

Вводя в расчеты переходные э. д. с. и переходные реактивности, мы для расчета переходных режимов получаем формулы, аналогичные формулам для установившихся режимов, что значительно упрощает расчет:

$$I_s = \frac{\sqrt{2}\, E''}{x''_d} + \frac{0{,}8 \sqrt{2}\, \dot{U}}{x''_d}; \quad I_v = \frac{E'}{x'_d}. \tag{35}$$

Полагая, для обобщения, $x'_q = x$, получаем из уравнения (33) и (34):

$$E' = \dot{U} + I_d x'_d + j I_q x'_q,$$
$$E'' = \dot{U} + I_d x''_d + j I_q x''_q, \tag{36}$$

т. е. переходные э. д. с. равны геометрической сумме напряжения на зажимах и падений напряжения от продольной и поперечной составляющих тока нагрузки, существовавшей до короткого замыкания (вообще до изменения режима), умноженных на соответствующие переходные реактивности. Из анализа выражения для E' видно, что E' совпадает по направлению с э. д. с. холостого хода. В течение малого промежутка времени Δt э. д. с. E' можно рассматривать постоянной, на чем основано применение к расчету переходных режимов метода последовательных интервалов.

Выводы. а) Величина установившегося тока короткого замыкания при трехфазном коротком замыкании на зажимах машины определяется синхронной реактивностью в продольной оси.

б) Для вычисления начальных значений тока короткого замыкания надо брать переходную э. д. с. и переходную реактивность, причем для вычисления ударного тока короткого замыкания необходимо брать мгновенные переходные э. д. с. и реактивность.

в) Переходная э. д. с. определяется как геометрическая сумма напряжения на зажимах и падений напряжения от продольной и поперечной составляющих тока нагрузки, существовавшей до короткого замыкания, умноженных на соответствующие переходные реактивности. Если короткое замыкание происходит при холостом ходе, то переходная э. д. с. равна э. д. с. холостого хода.

г) В машинах, снабженных успокоительной обмоткой, мгновенная переходная реактивность x''_d всегда меньше переходной реактивности x'_d. По величине она может быть принята равной реактивности рассеяния статора x_s.

д) В машинах, не снабженных успокоительной обмоткой, мгновенную реактивность в продольной оси x''_d можно принять равной переходной реактивности x'_d; в поперечной оси $x''_q = x'_q = x_q$. Переходная реактивность x'_d примерно равна реактивности рассеяния статора, включая рассеяния через расточку статора. Так как почти все турбогенераторы снабжаются успокоительной обмоткой, то в немецких нормах для определения ударного тока рекомендуется пользоваться реактивностью mit Bohrungsfeld только для генераторов с явно выраженными полюсами, не снабженными успокоительной обмоткой.

II. Реактивность для токов отрицательной последовательности фаз

Если пропускать через статор ток отрицательной последовательности фаз постоянной величины I_2, то напряжение на зажимах статора

$$U_2 = I_2 x_2, \tag{37}$$

где x_2—реактивное сопротивление для тока отрицательной последовательности фаз. Реактивность x_2 обусловлена потоками рассеяния, создаваемыми током I_2; эти потоки представляют собою обратно-синхронное вращающееся поле. В машине с цилиндрическим ротором без успокоительной обмотки и с разомкнутой обмоткой возбуждения величина потока при вращении не зависит от положения его оси в пространстве, причем вследствие небольшого магнитного сопротивления величина потока будет очень велика. Если обмотка возбуждения замкнута, то она значительно уменьшает поток в продольной оси, так как в ней индуктируются уравнительные токи. В этом случае реактивность x_2 не одинакова в зависимости от того, как располагается обратно-синхронный поток: она наименьшая в продольной оси и наибольшая в поперечной. Такую же картину имеем и в генераторе с явно выраженными полюсами с замкнутой обмоткой возбуждения. Значения x_2 для разных положений обратно-синхронного потока относительно полюсов для генератора с явно выраженными полюсами без успокоительной обмотки приведены на рис. 3 (кривая *1*).

Если ротор снабжен симметричной многофазной успокоительной обмоткой, то величина обратно-синхронного потока значительно уменьшается как в продольной, так и в поперечной оси (рис. 3: кривая *2*). В отличие от уравнительных

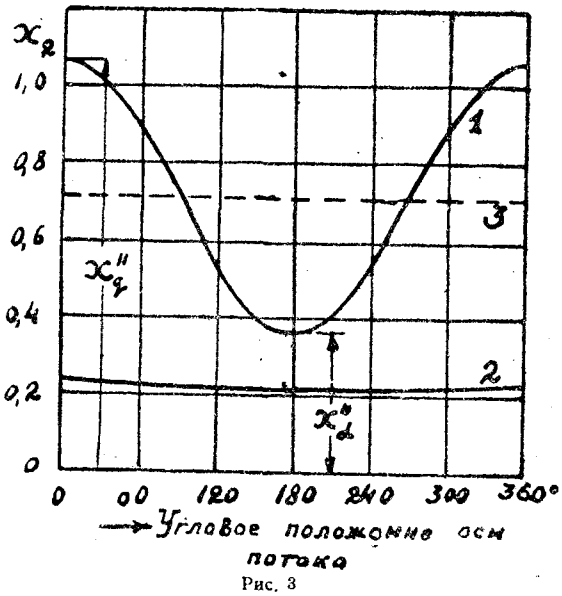


Рис. 3

токов успокоительной обмотки и обмотки возбуждения, которые индуктируются мгновенным изменением синхронного потока и вследствие отсутствия э. д. с. постепенно затухают, уравнительные токи, образуемые обратно-синхронным потоком, не затухают, так как они поддерживаются непрерывным пересечением обмотки обратно-синхронным потоком. В то же время обратно-синхронный поток не оказывает никакого влияния на основной поток полюсов; реакция якоря создается только синхронным потоком [Л. 7]. Поэтому величина x_2 по-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

стоянна во все время протекания процесса короткого замыкания. Для продольной оси можно принять x_{2d} равным x''_d для поперечной $x_{2q} = x''_q$; среднее значение

$$x_2 = \frac{x''_d + x''_q}{2}. \qquad (38)$$

При расчете пользуются всегда средним значением x_2 (рис. 3, кривая *3*, для машины без успокоительной обмотки), так как ток I_2 не занимает постоянного положения относительно оси полюсов, а вращается по отношению к ней с двойной синхронной скоростью.

Циркуляция токов отрицательной последовательности фаз через обмотки машины и точку аварии обусловлена неодинаковыми разностями между напряжениями на зажимах машины и э. д. с. в отдельных фазах. По мере уменьшения э. д. с., обусловленного влиянием реакции якоря, эти разности уменьшаются, вследствие чего ток отрицательной последовательности фаз уменьшается. Таким образом затухание токов отрицательной последовательности фаз равно затуханию составляющей переменного тока положительной последовательности фаз.

III. Реактивность для токов нулевой последовательности фаз

Токи нулевой последовательности фаз пульсируют во времени и имеют одинаковые величину и направление в обмотках всех трех фаз машины. Нетрудно убедиться (рис. 4), что при диаметральном шаге обмотки токи нулевой последовательности не создают общего магнитного потока, так как результирующая э. д. с. всех трех фаз равна нулю. Вследствие этого токи нулевой последовательности фаз не оказывают никакого влияния на основной поток полюсов, т. е. не дают реакции; сопротивление для токов нулевой последовательности фаз обусловлено только потоками рассеяния (пунктир на

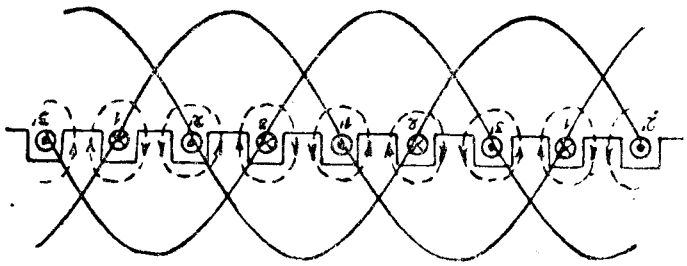


Рис. 4

рис. 4). Так как потоки рассеяния в зубцах, разграничивающих отдельные фазы, одинаковы по величине и направлены в одну сторону, зубцы насыщаются, и поэтому общая величина потока рассеяния через зубцы получается меньше, чем для токов положительной последовательности фаз. В лобовых частях катушечной обмотки при двухэтажных соединениях имеет увеличение реактивности рассеяния вследствие взаимоиндукции (рис. 5, *а*), по сравнению с реактивностью для токов положительной последовательности фаз. При трехэтажных соединениях (рис. 5, *b*) и в американской обмотке (рис. 6) имеет, наоборот, уменьшение реактивности рассеяния. Если шаг у двухслойной обмотки укорочен до $\frac{2}{3}\tau$, то в проводниках верхнего и нижнего слоя текут разного направления токи нулевой последовательности фаз (рис. 6, *b*). Вследствие этого поток рассеяния через зубцы уменьшается почти до нуля, и все сопротивление для токов нулевой последовательности фаз сводится только к небольшому сопротивлению от рассеяния лобовых частей.

Из этих рассуждений видно, что реактивность x_0 всегда меньше x_s (или x''_d). В зависимости от типа обмотки по Park и Robertson [Л. 1] имеем:

$$x_0 = 0{,}6 \div 0{,}15 x''_d. \qquad (39)$$

Реактивность x_0 постоянна для всего времени протекания короткого замыкания так же, как реактивность x_2; затухание токов нулевой последовательности фаз в силу тех же причин равно затуханию составляющей переменного тока положительной последовательности фаз.

IV. Опытное определение реактивностей

Создаваемый обмоткой каждой фазы статора пульсирующий поток можно разбить на две части: 1) поток, сцепляющийся только с обмоткой данной фазы Φ_{al} (поток самоиндукции) и 2) поток, сцепляющийся с обмотками других фаз Φ_{am} (поток взаимоиндукции); часть последнего потока сцепляется и с обмоткой ротора (поток реакции якоря). Пульсирующий поток Φ_{am} можно разложить на два вращающихся: синхронный поток $\frac{1}{2}\Phi_{ac}$ и обратно-синхронный $\frac{1}{2}\Phi_{ai}$. Для каждой фазы соответственно получаем:

$$\left.\begin{aligned}
\Phi'_{am} &= \frac{\Phi_{ac}}{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau}\right) + \frac{\Phi_{ai}}{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi x}{\tau}\right)\\
\Phi''_{am} &= \frac{\Phi_{ac}}{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau}\right) + \frac{\Phi_{ai}}{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi x}{\tau} - \frac{4\pi}{3}\right)\\
\Phi'''_{am} &= \frac{\Phi_{ac}}{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau}\right) + \frac{\Phi_{ai}}{2}\sin\left(\omega t + \frac{\pi x}{\tau} - \frac{8\pi}{3}\right)
\end{aligned}\right\} \qquad (40)$$

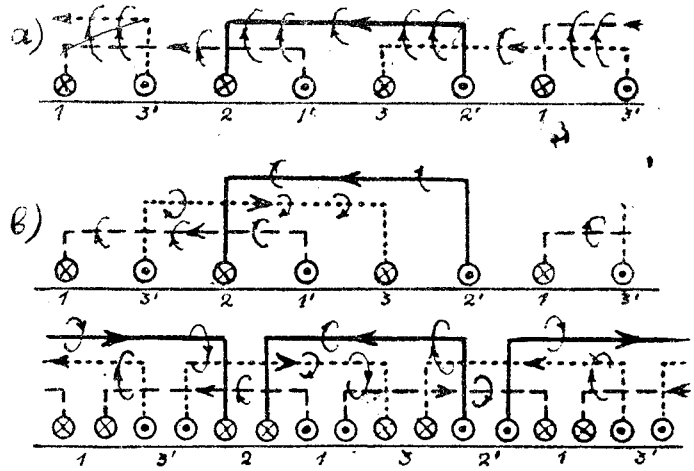


Рис. 5

Электродвижущие силы, соответствующие синхронному и обратно-синхронному потокам, одинаковы, но потоки эти вследствие разного магнитного сопротивления не одинаковы.

Синхронный и обратно-синхронный потоки, вращающиеся в пространстве, взаимодействуют друг с другом, образуя результирующие вращающиеся потоки. Таким образом обмотку каждой фазы статора пересекают пульсирующий поток самоиндукции и результирующие вращающиеся потоки взаимоиндукции.

При трехфазном коротком замыкании обмотку каждой фазы пересекает поток:

$$\Phi_a = \Phi_{al} + \frac{3}{2}\Phi_{ac} \qquad (41)$$

(обратно-синхронный поток равен нулю); индуктируемые этим потоком э. д. с. в каждой фазе равны $E_{al} + \frac{3}{2}E_{ac}$, а линейные э. д. с. (при соединении обмоток звездой)

$$E_P = \sqrt{3}\,E_{al} + \sqrt{3}\,\frac{3}{2}E_{ac}. \qquad (42)$$

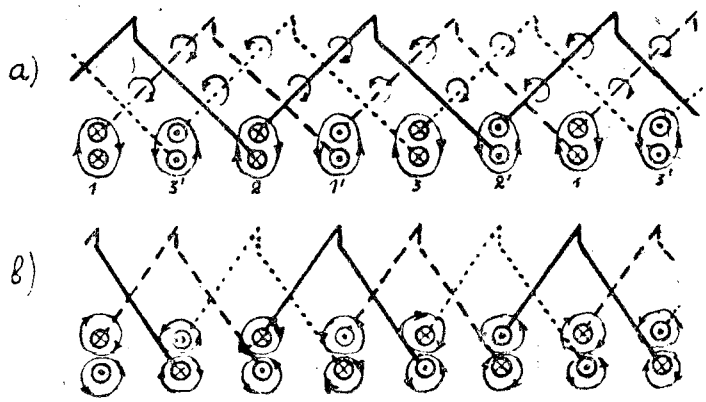


Рис. 6

При двухфазном коротком замыкании каждую из двух замкнутых фаз пересекает поток

$$\Phi_a = \Phi_{al} + \frac{\sqrt{3}}{2}\Phi_{ac} + \frac{\sqrt{3}}{2}\Phi_{ai}; \qquad (43)$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

на крайних зажимах двух замкнутых накоротко фаз э. д. с. равна

$$E_D = 2E_{al} + \sqrt{3}\,\frac{\sqrt{3}}{2}\,E_{ac} + \sqrt{3}\,\frac{\sqrt{3}}{2}\,E_{ai}. \qquad (44)$$

При однофазном коротком замыкании поток якоря, пересекающий замкнутую накоротко фазу, равен

$$\Phi_a = \Phi_{al} + \frac{1}{2}\,\Phi_{ac} + \frac{1}{2}\,\Phi_{ai}, \qquad (45)$$

соответственно чему фазная э. д. с. равна

$$E_M = E_{al} + \frac{1}{2}\,E_{ac} + \frac{1}{2}\,E_{ai}. \qquad (46)$$

Так как в дальнейшем мы будем пользоваться для всех случаев короткого замыкания одной и той же характеристикой холостого хода, построенной для линейных э. д. с., то фазной э. д. с. E_M соответствует на характеристике холостого хода фиктивная линейная э. д. с.

$$E'_M = \sqrt{3}\,E_{al} + \frac{\sqrt{3}}{2}\,E_{ac} + \frac{\sqrt{3}}{2}\,E_{ai}. \qquad (47)$$

Токи положительной последовательности фаз создают поток, пересекающий обмотку якоря $\Phi_{al} + \frac{3}{2}\,\Phi_{ac}$, и соответственную линейную э. д. с.

$$E_1 = \sqrt{3}\,E_{al} + \frac{\sqrt{3}}{2}\,\sqrt{3}\,E_{ac} = \sqrt{3}\,I\,x, \qquad (48)$$

где x—синхронное реактивное сопротивление.

Токи отрицательной последовательности фаз создают поток $\Phi_{al} + \frac{3}{2}\,\Phi_{ai}$ и линейную э. д. с.

$$E_2 = \sqrt{3}\,E_{al} + \sqrt{3}\,\frac{3}{2}E_{ar}\,\sqrt{3}\,I\,x_2. \qquad (49)$$

Токи нулевой последовательности фаз дают поток Φ_{al} и фазную э. д. с.:

$$E_o = E_{al} = I\,x_o \qquad (50)$$

(это справедливо только для двухслойных обмоток и для однослойных с трехэтажными лобовыми соединениями; при двухэтажных лобовых соединениях существует некоторый поток взаимоиндукции).

Умножая уравнение (44) на $\sqrt{3}$ и вычитая из него уравнение (42), получаем

$$\sqrt{3}\,E_{al} + \sqrt{3}\,\frac{3}{2}E_{ai} = E_2 = \sqrt{3}\,I\,x_2 = \\ = \sqrt{3}\,E_D - E_P. \qquad (51)$$

Для случаев установившихся трехфазного и двухфазного короткого замыкания, при которых в обмотках статора проходит одинаковой силы ток I (меньше или равный номинальному), можно считать э. д. с. E_2, E_D и E_P пропорциональными токам возбуждения i_2, i_D и i_P. Отсюда

$$i_2 = \sqrt{3}\,i_D - i_P. \qquad (52)$$

По силе тока i_2 из характеристики холостого хода для линейного напряжения находим э. д. с. E_2, а по ней x_2. Этот метод определения x_2 был предложен Fallou.

Умножая уравнение (47) на 3, а уравнение (44) на $\sqrt{3}$ и вычитая из первого второе, получаем:

$$\sqrt{3}\,E_{al} = \sqrt{3}\,E_o = E'_o = 3\,E'_M - \sqrt{3}\,E_D. \qquad (53)$$

Этим э. д. с. соответствуют токи возбуждения

$$i_o = 3\,i_M - \sqrt{3}\,i_D. \qquad (54)$$

По току i_o находим фиктивную линейную э. д. с. $E'_o = \sqrt{3}\,E_o$, откуда $x_o = \frac{E'_o}{\sqrt{3}\,I}$. Этот метод был предложен Толвинским и Ефремовым.

Анализируя уравнения потоков при установившихся коротких замыканиях, нетрудно убедиться, что переходные реактивности x''_d и x'_d для токов положительной последовательности фаз по характеристикам короткого замыкания определить нельзя; может быть определена по уравнению (42) только синхронная реактивность. Для определения x''_d и x'_d в САСШ прибегают к осциллограммам, снятым при внезапном коротком замыкании, x''_d и x'_d могут быть определены с достаточной точностью также при вынутом роторе, в первом случае из полной реактивности должна быть вычтена реактивность, соответствующая потоку рассеяния, проходящему через расточку статора, во втором случае берется полная реактивность.

Литература

1. R. H. Park and B. L. Robertson. The Reactances of Synchronous Machines, JAIEE. 1928, стр. 345.
2. P. L. Alger, The Calculation of the Armature Reactance of Synchronous Machines, JAIEE. 1928, стр. 265.
3. R. H. Park and E. H. Bancker, System Stability as a Design Problem., Tr. AIEE. январь, 1929 стр. 170.
4. J. Fallou A propos de la mesure de réactance de dispersion des alternateurs triphasés, RGE, 8 октября 1927, стр. 543.
5. C. F. Wagner, Effect of Armature Resistance Upon Hunting of Synchronous Machines, Tr. AIEE, июль, 1930, стр. 1011.
6. C. F. Wagner. Damper Windings for Wafer-Wheel Generators, Tr. AIEE, № 1, 19 1, стр. 140.
7. F. M. Wengner, Theoretishe und experimentelle Untersuchungen an der synchronen Einphasen-Maschine, München und Berlin, 1910.

СТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

К проекту новых норм по защитным заземлениям[1])

Роках

В Ленинграде недавно закончена работа по утверждению правил безопасности в сетях низкого напряжения. Остановимся на некоторых принципиально спорных моментах этого проекта.

Величина допустимого напряжения

Проект требует, чтобы напряжение прикосновения к металлическим частям при протекании через них тока замыкания на землю не превышало 40 V. Для оценки этой цифры обратимся к статистике смертных случаев в зависимости от напряжения, которую дает Британская электротехническая инспекция безопасности за 1923—1927 гг.

Таблица 1

Число смертных случаев	Напряжение установки	Вероятное напряжение при поражении
30	33 000—2 000	19 000—1 150
9	550—400	550—265
59	440—200	250—200
1	230	135

Статистики по другим странам мы не имеем, но и эта чрезвычайно показательна. За четыре года от напряжения меньше 200 V был всего один несчастный случай, хотя система напряжения 220/120 V в Англии широко распространена.

К этому вопросу можно подойти и с другой стороны. Как известно, непосредственное воздействие на организм определяется величиной протекающего через тело тока.

Швейцарское управление электрических станций проделало опыты с 25 лицами с целью выяснения влияния опасного тока и сопротивление человеческого тела Оказалось, что не все из них одинаково реагировали на величину приложенного напряжения (в зависимости от сопротивления тела), но при одинаковых токах ощущения всех испытуемых совпадали. Предельная сила тока была 15 mA. При таком токе ни один из испытуемых не мог самостоятельно освободиться от электродов и не мог вытерпеть более 15 сек. Проф. Weber (Швейцария) пропускал через себя ток больше 20 mA, но при этом уже не мог от боли прочесть показания на приборах. Опытные данные, которые имеются в распоряжении ВЭИ,

[1]) Помещая статью т. Рокаха с критикой основных положений проекта новых норм по защитным заземлениям в порядке обсуждения и приглашая заинтересованные организации высказаться по этому вопросу, редакция вместе с тем отмечает, что указанный проект еще не закончен и находится в стадии разработки. Ред.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

подтверждают цифру 15 mA, хотя отдельные индивидуумы выдерживали и большие токи. Ток в 20 mA можно считать для жизни безопасным. Различные авторы принимают минимальный порог опасности от 50 до 100 mA.

Минимальное среднее сопротивление человека как комплекса (сопротивление кожи на руках, сопротивление тела, обуви, сопротивление от подошв до абсолютной „земли"), по тем же материалам, мы считаем для низких напряжений—3 000 Ω. Такое сопротивление получается, когда человек обеими руками плотно держит электрод и стоит на влажной земле. Ток пропускается по схеме рис. 1. Ноги и руки должны при этом быть потные, в обуви должны иметься металлические гвозди. В противном случае сопротивление резко возрастает.

Швейцарские опыты дали несколько меньшую цифру, однако условия опытов были искусственные. Ток пропускался от руки к руке, т. е. выпадало сопротивление обуви. Другие авторы указывают большие величины сопротивления; так, например, по наблюдениям в американской тюрьме Синг-Синг, известной применением электрического стула, Ogle дает цифру 10 000 Ω при 110 V.

Принимая минимальное сопротивление равным 3 000 Ω и безопасный ток—20 mA, мы получим допустимое напряжение прикосновения:

$$E_{np} = IR = 20 \cdot 10^{-3} - 3\,000 = 60 \text{ V}.$$

Немецкие нормы допускают напряжение прикосновения 65 V. Нам кажется, что на этой цифре и следует остановиться.

Распределение потенциала

Проект новых норм совершенно не учитывает снижающих коэфициентов и приравнивает напряжение прикосновения той разности потенциалов, которая возникает между металлической конструкцией и удаленной от нее точкой земной поверхности (после соединения этой конструкции с фазным проводом). Действительно, всякая металлическая конструкция, всякий станок, если он стоит на земле на бетонном полу, является одновременно и заземлителем, и ток при замыкании на корпус распределяется согласно рис. 2, где изображен случай установки с заземленной нейтралью.

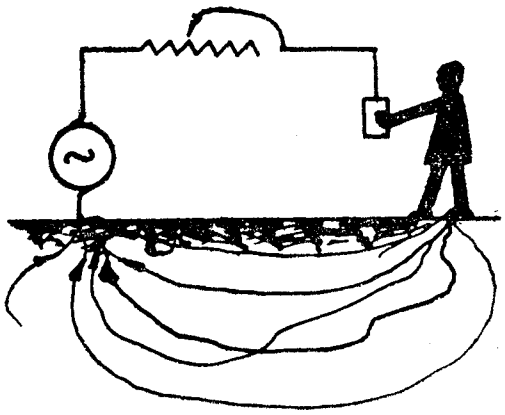


Рис. 1

Ток замыкания на землю I распределится между пораженным станком и остальными частями защитного заземления обратно пропорционально их сопротивлениям растекания. Под сопротивлением растекания, или сопротивлением распространения, мы будем понимать то сопротивление, которое должен преодолеть ток, двигаясь от данного электрода по земле, чтобы распространиться на большое расстояние. Его часто называют переходным сопротивлением, что соответствует неверному представлению, будто бы сопротивление сосредоточено на контактной поверхности между электродом и землей.

Сопротивление защитного заземления

$$R_з = \frac{R_a' \, R_a''}{R_a' + R_a''},$$

где R_a'—сопротивление растекания пораженного станка,

R_a''—сопротивление растекания остальной части защитного заземления, которое может состоять из других станков, из водопровода или специально забитых в землю электродов и т. д.

Потенциалу, который возникает на корпусе станка, $\varphi_0 = IR_з$, соответствует ток, текущий через фундамент станка,

$$I' = \frac{\varphi_0}{R_a'}.$$

Этот ток создает повышенный потенциал всей зоны вокруг станка. Распределение потенциала характеризуется кривой (рис. 3), из которой видно, что рабочий, находясь на некотором расстоянии от станка, может попасть под какую-то часть полного напряжения между станком и „землей", которая определяется как разность потенциалов между той точкой земли, на которой он стоит, и полным потенциалом φ_0:

$$E_n = l_1 \varphi_0,$$

где l_1—коэфициент прикосновения, E_n—напряжение прикосновения.

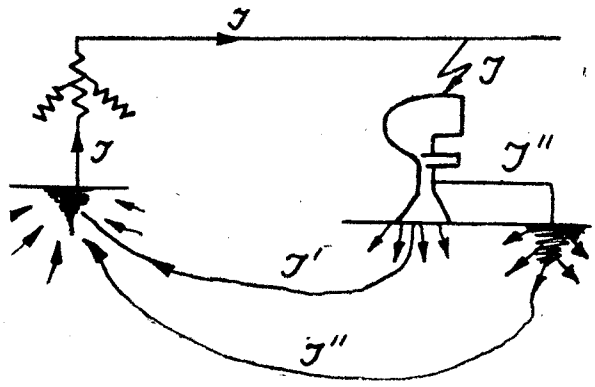


Рис. 2

Внутри зданий, ввиду наличия большого числа заземленных металлических конструкций, коэфициент l бывает невелик. ВЭИ производил измерения этого коэфициента на нижеуказанных подстанциях, результаты коих представлены в табл. 2.

Таблица 2

	Балахна	Сормово	Малитовка	Павлово	Ворсма	Возники	Дзержинск	Кулебаки	Богородск
Коэфициент напряжения прикосновения внутри здания	0,12	0,2	0,17	0,38	0,45	0,2	0,19	0,2	0,23

В таблице даны максимальные коэфициенты, которые получены из многих измерений на данной подстанции. Они получались на бетонном полу на первом этаже. На втором этаже коэфициенты прикосновения во всех случаях значительно меньше.

В заводских цехах коэфициент должен быть не больше, а, наоборот, меньше, если все станки соединены между собой металлически. Для проверки этого комиссии ЦЭС следовало бы провести соответствующие измерения.

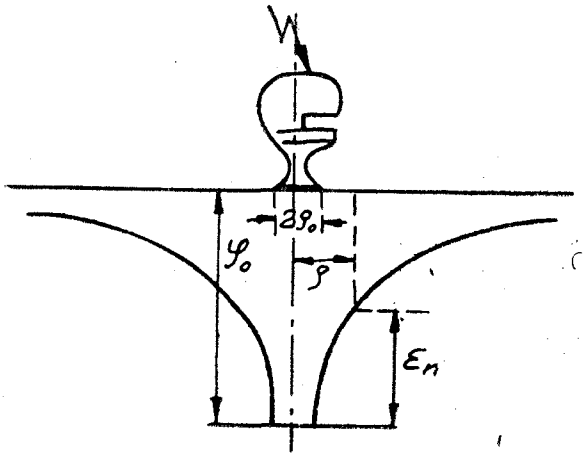


Рис.

Теоретически потенциал любой точки около станка можно получить при круглой плите. Если радиус плиты обозначим через ρ_0 (рис. 3), то относительный потенциал любой точки,

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

находящейся от центра плиты на расстоянии ρ, на поверхности земли будет равен

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{\varphi_0}{\rho}.$$

По этой формуле подсчитаны потенциалы на расстоянии 0,5 m от станков, плиты которых по площади равны 0,8 и 2 m² (табл. 3).

Таблица 3

Площадь плиты m²	Радиус эквивалентной круглой плиты	Расстояние от центра плиты до ног рабочего	Относительный потенциал данной точки	Относительный потенциал от станка, находящегося на расстоянии 3 m	То же от станка на расстоянии 6 m
$F = ab$	$\varphi_0 = \sqrt{\frac{ab}{n}}$	$\varphi = \varphi_0 + 0{,}5$ m	φ/φ_0%	φ'/φ_0%	φ''/φ_0%
0,8	0,5	1,0	33	10	5,5
2,0	0,8	1,3	40	17	7,5

В первом случае потенциал на расстоянии 0,5 m от станка будет равен 33%, т. е. разность потенциалов между ногами рабочего и станком—67% от полного напряжения между станком и „землей". Но если по обе стороны на расстоянии 3 m имеются еще таких же два станка, то потенциал земли в том месте, где стоит рабочий, получится как сумма наведенных потенциалов

$$\varphi = 33\% + 10\% + 10\% = 53\% \qquad l_1 = 47\%$$

и во втором случае

$$\varphi = 40\% + 17\% + 17\% = 74\% \qquad l_1 = 26\%.$$

Расчет является приближенным. Он не учитывает экранирующего влияния станков друг на друга, что несколько ухудшает коэфициенты, однако, он целиком подтверждает полученные при практических измерениях цифры табл. 1.

Поэтому мы предлагаем ввести в нормы расчетный коэфициент прикосновения $l_1 = 0{,}5$, который может быть еще уменьшен после контрольных измерений.

Расстояние 0,5 m от станка мы взяли, считая, что это максимальное расстояние, при котором рабочий может крепко держаться за рукоятки во время работы. Касание с корпусом станка может произойти и на большем расстоянии, но здесь сопротивление человека будет гораздо выше из-за худшего контакта (3 000 Ω получается лишь в том случае, если человек плотно охватил электроды руками) и опасность практически устраняется. Кроме того, для этих случаев нет необходимости применять в расчете пониженное напряжение прикосновения (60 или 40 V). Если же станки стоят на изолированных от земли фундаментах, или если желательно получить более низкие коэфициенты прикосновения, можно на соответствующем расстоянии от станков проложить железную полосу (одну или две). Наконец, если пол в цеху не обладает заметной проводимостью, например, торцовый деревянный пол, залитый смолой (Автозавод), или сухой бетонный пол, то никаких коэфициентов прикосновения вводить в расчет нельзя, но зато в цепь вводится сопротивление пола такой величины, что сопротивлением человека можно пренебречь. На подстанциях Сормово, Малитовка, Балахна сухой бетонный пол имел настолько большое сопротивление, что переходное сопротивление от металлической пластины к бетону не удалось измерить, несмотря на смачивание соленой водой. Мы считаем, что сети, в которых напряжение металлических нетоконесущих частей относительно земли не превышает 120 V для жизни не опасны.

Для подтверждения этого взгляда приводим статистику несчастных случаев от электричества в промышленности РСФСР за 1923—1925 гг. (табл. 4) [1].

Таблица показывает, что большинство несчастных случаев происходит как раз там, где нет снижающих защитных коэфициентов.

Металлические конструкции, нормально не несущие тока, дают всего 1,2% от общего числа несчастных случаев, несмотря на то, что повреждения изоляции в заводских сетях очень часты и количество людей, касающихся открытых металлических конструкций, гораздо больше, чем число лиц, связанных с электрическим оборудованием.

[1] См. „Электричество", № 15—16, 1929, ст. Белинского.

Таблица 4

Наименование частей оборудования	Абсолютное число	Отношение к итогу в %
Рубильники и плавкие предохранители	265	38,2
Внутренняя проводка, электрические лампы, штепсельные соединения воздушной линии низкого напряжения, электрические приборы	224	32,3
Трамвайные вагоны, контроллеры	51	7,3
Электродвигатели, генераторы, реостаты, под'емные и транспортные устройства с электрическим приводом	59	8,5
Высоковольтные линии, трансформаторные будки, масляники, треншальтеры	31	4,3
Кабели освинцованные и бронированные	16	2,3
Распределительные устройства, щиты	40	5,7
Металлические конструкции, нормально не несущие напряжения	8	1,2
	694	100

С уверенностью можно сказать, что если бы при устройстве защитных заземлений в сетях низкого напряжения правильно использовали возможность повышения потенциала земли вокруг частей электрического оборудования (моторы, щиты, реостаты и т. д.), то несчастных случаев было бы значительно меньше. Эта возможность всегда используется в заземлениях высокого напряжения.

Расчетный ток замыкания на землю

Нормы германских электротехников требуют обеспечения безопасности при протекании через заземление тока замыкания на землю, равного $2\frac{1}{2}$-кратному току выключения автоматов или $2\frac{1}{2}$-кратному току перегорания плавких предохранителей. Всякий больший ток уже обеспечивает выключение и, следовательно, может существовать лишь короткое время. Рассчитывать на кратковременно длящиеся токи необязательно.

Эта установка целиком воспринята комиссией ЛОЦЭС, но против нее приходится возражать. В вопросах безопасности нам следует, критически осваивая заграничный опыт, итти своей дорогой. Прежде всего следует отметить, что в установках высокого напряжения, где ни о каком непрерывном массовом соприкасании людей с заземленными об'ектами не приходится говорить, мы защищаем исключительно от кратковременного действия тока короткого замыкания.

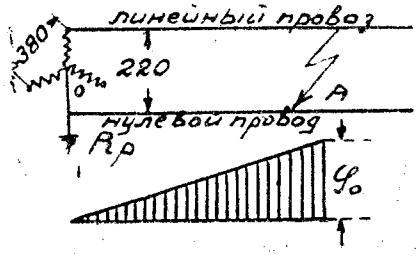


Рис. 4

С другой стороны, всякий, кто знаком с практикой эксплоатации наших заводских сетей, знает, что плавкие вставки ставятся с запасом особенно в мелких ответвлениях. Здесь их ставят зачастую сами рабочие. Такие вставки могут при $2\frac{1}{2}$-кратном токе не перегорать.

Однако главное возражение не в этом, а в самой природе поражения человека электрическим током. Наибольшую опасность из различного рода воздействий электрического тока на организм представляет „электрический удар". Он характеризуется мгновенным появлением судорог и столбняка, потерей сознания, прекращением деятельности органов дыхания и кровообращения и наступлением так называемой мнимой смерти. Последняя, при отсутствии медицинской помощи, нередко оканчивается действительной смертью.

Если такой „удар" произойдет с рабочим, который склонился над станком, то безразлично, будет ли явление длиться в течение нескольких секунд или нескольких минут, так как он попадет в машину и получит увечье от чисто механических причин.

Из воздействий электрического тока на организм, как известно, электрические удары наиболее часты. Так например, из 99 смертных случаев в Англии, приведенных

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

в табл. 1, в 6 случаях причиной смерти были ожоги от электрического тока, в 3 случаях—падение с высоты, в остальных 90 случаях—электрические удары.

Не отрицая того, что электрический удар происходит не мгновенно, а требует известного времени, мы считаем, что это время следует измерять долями секунды, и поэтому время существования тока перед выключением—3—4 сек. не должно считаться кратковременным. Мы думаем, что если бы даже ток длился несколько минут, то наиболее опасным является именно первый момент, так как в большинстве случаев рабочие держат рукоятки станков перед моментом аварии и плотно их сжимают. В остальные моменты всякое касание к станку, который находится под напряжением, ограничится отдергиванием руки и плотный контакт менее вероятен. Не следует преуменьшать относительное значение несчастных случаев от касания к металлическим нетоконесущим конструкциям на основании данных табл. 3, которая относится к 1923—1925 гг. Она отражает прошлое нашей промышленности и не может служить критерием для оценок на будущее время.

Напряжение 380/220 V только теперь вводится в практику низковольтных сетей. Оно должно заменить эксплоатационное напряжение 220/120 V, которое дает 120 V по отношению к земле, и является около заземленных конструкций, как было выяснено, нежизнеопасным. Последнее нельзя сказать о напряжении 380/200 V.

Кроме того, и это главное, наши вновь строящиеся и реконструируемые заводы имеют неизмеримо более высокую энерговооруженность, чем заводы капиталистической России.

Речь идет не только о замене трансмиссий индивидуальным приводом. Мотор проникает внутрь станка, становится его доподлинным электрическим сердцем, изменяет внешний вид и самую конструкцию станка. Этот процесс в корне меняет условия безопасности. Если раньше, при ременной передаче, станок был изолирован от сети, то теперь провода входят в станок, и всякий пробой кабеля переносит через броню кабелей, через газовые трубы фазовый потенциал на станины всех станков. Опасность сразу принимает массовый характер. Какие же мотивы выдвигают представители комиссии ЛОЦЭС в пользу предложения, не защищать от кратковременно существующих токов.

Не мотивируя по существу, они (инж. Подольский) указывают на экономическую неприемлемость защиты от установившегося тока короткого замыкания. В доказательство приводится расчет на примере установки с занулением (рис. 4), где внизу изображено распределение потенциала нулевого провода, начиная от нейтрали трансформатора до места короткого [1]). Чтобы получить в этом месте напряжение по отношению к земле равное 40 V, необходимо, чтобы падение напряжения в нулевом проводе равнялось 40 V, а падение напряжения в линейном проводе 220 — 40 = 180 V (мощность трансформатора считается бесконечной).

Отсюда следует, что отношение сечений нулевого и линейного проводов должно быть обратно пропорционально падениям напряжения

$$\frac{\varphi_0}{\varphi} = \frac{220-40}{40} = 4{,}5.$$

Сечение нулевого провода должно быть в 4½ раза больше сечения линейного, что совершенно невозможно.

Ясно, что более логичным было бы отказаться от нулевого провода, чем отказываться от защиты, однако, дело обстоит, как увидим дальше, совсем не так плохо.

Будем вести расчет, допуская согласно проекта напряжение прикосновения 40 V. Рассмотрим ту же схему, но без заземления в нейтрали трансформатора. Так как к нулевому проводу присоединены все металлические каркасы и станины станков, то он имеет в месте замыкания на землю, пусть даже несовершенное, заземление. Распределение потенциала вдоль по нулевому проводу изобразится согласно рис. 5. Такую схему можно применить, если подстанция вынесена из цеха в отдельное помещение. При этом максимальный потенциал можно допустить такой же, какой допускается на подстанциях высокого напряжения, т. е. 150 V. Тогда на долю линейного провода останется 70 V. Надо лишь обеспечить, чтобы нулевой провод внутри цеха имел потенциал не выше 80 V (принимая коэфициент прикосновения $l_1 = 0{,}5$).

Наконец, рассмотрим самую общую схему между точками OA. Теперь имеется два параллельно включенных сопротивления: сопротивление нулевого провода r_0 и сопротивление земли $R_з + R_p$, где R_p—рабочее заземление, $R_з$—защитное заземление. Пусть $R_з = 20\ \Omega$, $R_p = 40\ \Omega$, $r_0 = 0{,}6\ \Omega$, $r_л = 0{,}2\ \Omega$. Действующее напряжение $E_ф = 220$ V. При подсчете сопротивления между точками OA мы можем совершенно пренебречь той добавочной проводимостью, которую представляет земля, так как она составляет меньше одного процента (0,75%) от проводимости нулевого провода.

Ток протекающий через цепь:

$$I \approx \frac{E_ф}{r_0 + r_л} = \frac{220}{0{,}6 + 0{,}2} \approx 275 \text{ A}.$$

Падение напряжения в нулевом проводе

$$E_0 = I r_0 = 275 \cdot 0{,}6 = 165 \text{ V}.$$

Теперь займемся распределением потенциалов, поскольку через рабочее заземление протекает ток. Потенциал нейтрали генератора уже не будет равен нулю, а определится как произведение из тока, протекающего через заземление, на его сопротивление растекания.

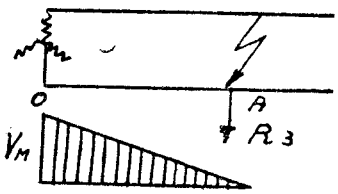


Рис. 5

Ток, протекающий через заземления R_p и $R_з$:

$$I_з = \frac{E_0}{R_p + R_з} = \frac{165}{40 + 20} = 2{,}75 \text{ A},$$

$$\varphi_p = I_з R_p = 2{,}75 + 40 = 110 \text{ V}.$$

Соответственно, потенциал в месте замыкания на землю, т. е. на защитном заземлении

$$\varphi_з = I_з R_з = 2{,}75 \cdot 20 = 55 \text{ V}.$$

Учитывая коэфициент прикосновения $l_1 = 0{,}5$, получаем напряжение прикосновения:

$$E_{пр} = l_1 \cdot \varphi_з = 0{,}5 \cdot 55 = 22{,}5 \text{ V}.$$

Распределение потенциала вдоль по нулевому проводу показано на рис. 6 внизу. Мы видим, что если общее напряжение между точками OA определяется сопротивлением нулевого провода (это не всегда так бывает), то потенциалы относительно земли определяются исключительно соотношением сопротивлений защитного и рабочего заземления. Варьируя это соотношение, можно менять потенциалы на защитном и рабочем заземлении. При этом всегда остается в силе уравнение: $\varphi_з - \varphi_p = \Sigma_0$.

Ограничившись этим простым примером, мы считаем доказанным несостоятельность утверждения о необходимости применять чрезмерные сечения нулевого провода при расчете на установившийся ток короткого замыкания.

Способ прокладки нулевого провода

Проект ЛОЦЭС повторяет требование старых норм о том, чтобы нулевой провод прокладывался с такой же изоляцией, как и фазовые провода. Поэтому для установки с занулением, которые очень широко применяются, заказывают специальный

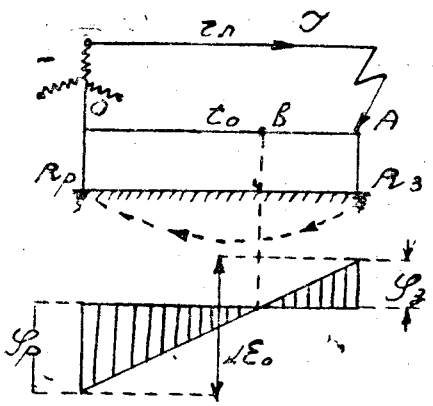


Рис. 6

четырехжильный кабель, которым и прокладывают нулевой провод. Этот же нулевой провод во многих местах соединяется с землей и потенциал его в нормальном состоянии равен (или почти равен) нулю (потенциалу земли). Спрашивается, в чем смысл изоляции?

[1]) См. проф. С. А. Пресс, Электрические установки, стр. 318.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Когда применялась система постоянного тока со средним или нулевым проводом, то изоляция производилась с целью предохранить нулевой провод от раз'едания под действием электролиза. Электролиз возникал при асимметричной нагрузке, когда нулевой провод принимал некоторый, хотя и ничтожный, потенциал относительно земли. Теперь в сетях трехфазного переменного тока изоляция нулевого провода применяется по традиции. Опасение коррозии металла при переменном токе отпадает. Американское бюро стандартов производило тщательные исследования электролиза на железных и свинцовых проводниках, заложенных в сырой глине (см. „Technologic Pater", № 72), после протекания тока, при частоте $x = 60$. В течение нескольких недель процент потери металла составлял лишь малую долю процента от той потери, какую давал при тех же ампер-часах постоянный ток.

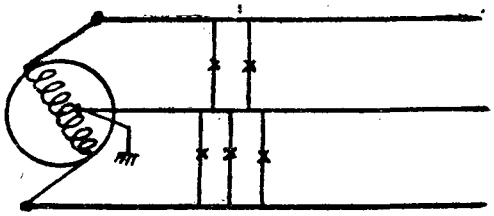


Рис. 7

Отказавшись от изоляции нулевого провода, мы помимо экономии, связанной с изоляцией, получаем возможности использовать „естественные" нулевые провода, которые всегда имеются на предприятии в виде водопроводных труб, газовых труб, системы паропроводов и, наконец, в виде наиболее удобного нуля—свинцовой оболочки и брони силового кабеля.

Кабель марки СБН диаметром 40 mm при толщине свинцовой оболочки $\delta = 1{,}5$ mm, имеет в этой оболочке проводимость:

$$K_c = k \cdot \delta \cdot \pi D = 4{,}9 \cdot 1{,}5 \cdot 40 \cdot \pi = \frac{923 \text{ сименса}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2},$$

что представляет эквивалент медного провода сечением 16 mm², где k—удельная проводимость свинца, D—диаметр кабеля по свинцу.

Это дает нулевой провод, достаточный для линейных проводов, сечением в 50 mm². Броня состоит из двух железных лент 43·1 mm. Она имеет проводимость $K_{ж} = 2k_m \delta = 2 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 43 = 680$ сименсов 1 m·mm². Суммарная проводимость представляет медный эквивалент—28 mm², т. е. достаточный нулевой провод для сечений до 90 mm².

Далее, всякая водопроводная труба диаметром 2″ дает медный эквивалент:

$$\frac{\pi D \cdot \delta k_м}{k_м} = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 3{,}0 \cdot 8}{57} = 66 \text{ mm}^2.$$

Имея налицо такие великолепные „естественные" нулевые провода, мы до сих пор тратим дефицитную медь на это дело и, более того, заказываем специального типа четырехжильные кабели, в то же время соединяя четвертую жилу, везде, где это возможно, с землей. Отказавшись от такого бессмысленного расходования меди, мы получим экономию, которая в масштабе Союза будет исчисляться миллионами рублей.

(Для одного из заводов, который обратился за консультацией в ВЭИ, количество меди, затраченной на нулевые провода, составило 200 болванок.)

Считаем необходимым решительно покончить с затратой меди на нулевые провода, широко используя для зануления трубы водопроводов и оболочку кабелей.

В заключение мы еще раз хотим подчеркнуть, что безопасность установки следует обеспечить, ориентируясь не на ток перегорания плавких вставок, а на установившийся ток короткого замыкания. При умелом проектировании это не потребует затрат, превышающих то, что сейчас тратится на заземления, не обеспечивающие безопасности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Приближенные уравнения статического состояния электрической системы станции

Н. Щедрин

При решении проблемы устойчивости сложных электрических систем возникает вопрос о нахождении распределения токов, напряжений и, главным образом, мощностей между генераторами и станциями при заданном положении векторов э. д. с.

При решении этой задачи следует предположить, что импеданцы системы от токов и напряжений не зависят; э. д. с. постоянны по скалярной величине. Импеданцы генераторов выбираются в зависимости от процесса электрических изменений—синхронными или переходящими (transient).

Решение указанной задачи при таких условиях остается зависимым от того, как ведет себя нагрузка. Последняя состоит, главным образом, из асинхронных двигателей и освещения. Замена такой нагрузки эквивалентным импеданцем, выбираемым при номинальном напряжении, весьма упрощает решение, но вносит существенную ошибку, так как такая замена связана с допущением, что активная мощность нагрузки (приемников) меняется пропорционально квадрату напряжения.

Это не соответствует действительности. Ближе к истине—допущение, что активная мощность нагрузки не зависит от колебаний напряжения, реактивная же изменяется пропорционально напряжению.

Дальнейшим уточнением является допущение, что часть активной нагрузки меняется пропорционально квадрату напряжения, другая же часть постоянна.

Если систему можно привести к двум станциям, то применяют графические построения, пользуясь действительными статическими характеристиками нагрузки. В этом случае обычно независимым параметром принимается напряжение *(V)*, приложенное к приемнику,—точнее напряжение на шинах главной питающей подстанции (см. ВТЭ, № 2, 1929). Определяемой величиной является угол между векторами э. д. с. станций *(O)*. Обратный путь (исходя из *O*) нахождения *V* по статическим характеристикам затруднителен. Но если данную систему нельзя заменить системой двух станций, то и первый обычный путь невозможен, так как при заданном *V* углы э. д. с. не определяются достаточным числом уравнений.

Поэтому при аналитическом рассмотрении сложных систем нагрузку целесообразно заменить тем или иным шунтом, присвоив этому шунту свойства, в наибольшей степени отражающие свойства реальных приемников. Этому условию, повидимому, лучше всего удовлетворяет последнее из указанных ранее допущений. Оно и положено в основу нижеследующих рассуждений.

Последние ограничены рассмотрением случая, когда n генераторов (или станций) связаны сложной сетью с единственной конечной точкой питания—главной подстанцией.

При этом вводятся следующие обозначения:

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \ldots, \dot{I}_n$—токи генераторов,

$\dot{E}_1, \dot{E}_2, \ldots, \dot{E}_n$—э. д. с. „

$\dot{V}$—напряжение на шинах главной подстанции,

$\dot{I}_k', \dot{I}_k'', \ldots \dot{I}_k^{(n)}$ — токи, протекающие в генераторах при 3-полюсном коротком на шинах подстанции,

$\dot{I}_k$— полный ток в точке 3-полюсного замыкания на шинах подстанции,

$\dot{I}_н$— ток нагрузки при напряжении V,

$\dot{Y}_k$— комбинированная проводимость системы (см. СЭТ, т. II, отд. 10) при 3-полюсном замыкании на шинах подстанции.

$\dot{Y}_н$— проводимость, зависящая от напряжения шунта, заменяющего нагрузку.

В данных обозначениях точка указывает векториальный смысл изображаемой величины. Скалары их будут обозначаться теми же символами без точки. Обозначения прочих величин указываются в дальнейшем.

Переходя к рассмотрению вопроса, положим согласно принятому нами взгляду на свойства нагрузки:

$$\dot{Y}_н = -jb_н + g_н + \frac{S}{V^2}, \qquad (1)$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

где $b_н$—реактивная проводимость нагрузки и $g_н$—активная проводимость нагрузки, определяющие изменение реактивной и части активной мощности пропорционально квадрату напряжения: S—коэфициент пропорциональности для активной части мощности, не зависящей от колебания напряжения.

Каков бы ни был режим системы, на основании принципа наложения и принципа относительности напряжений токи генераторов могут быть выражены следующим равенством:

$$\dot{I}_m = \dot{a}_{1m}(\dot{E} - \dot{V}) + a_{2m}(\dot{E}_2 - \dot{V}) + \ldots + \dot{a}_{nm}(\dot{E}_n - \dot{V}). \quad (2)$$

Здесь a_{1m}, a_{2m}, a_{nm} [1]) — коэфициенты, зависящие только от постоянной системы и ее конфигурации для данного момента. Если принять $\dot{U}$, а также все э. д. с. кроме, например, E_2 равными нулю, а $\dot{E}_2$ принять равным 1, то a_{2m} будет численно и векториально равно току, протекающему в рассматриваемом генераторе при заданной конфигурации системы.

Если мы рассматриваем, например, режим при коротком замыкании где-либо в сети, то, допустив одновременно, что генераторы 1, 3, ..., n (кроме генератора 2) лишены возбуждающего поля в междужелезном пространстве (что, конечно, гипотетично), а также, что одновременно замкнуты накоротко шины подстанции,—мы получим в генераторе m ток, равный a_{2m}, когда $E_2 = 1$ V.

Эти коэфициенты $a_{1m}, \ldots, a_{nm}$ могут быть найдены как вычислением, так и экспериментально на специальном расчетном приборе. Важно то, что если пренебречь омическими сопротивлениями в системе, то рассматриваемые коэфициенты легко находятся на вычислительном столе постоянного тока, применяемом для расчета сверхтоков.

Раскрывая скобки равенства (2), получим

$$\dot{I}_m = \dot{a}_{1m}\dot{E}_1 + a_{2m}\dot{E}_2 + \ldots + \dot{a}_{nm}\dot{E}_n - \dot{V}(\dot{a}_{1m} + \dot{a}_{2m} + \ldots + \dot{a}_{nm}),$$

или

$$\dot{I}_m = \sum_1^n \dot{a}_{nm}\dot{E}_n - \dot{V}\sum_1^n a_{nm}. \quad (3)$$

Сумма $\sum_1^n a_{nm}\dot{E}_n$ представляет собой нечто иное, чем величину тока, протекающего в генераторе m при 3-полюсном коротком на шинах нагрузки, при данной конфигурации сети и при данных векториальных значениях всех э. д. с. системы, т. е.

$$\sum^n \dot{a}_{nm}\dot{E}_n = \dot{I}_k^{(m)}. \quad (4)$$

Сумма $\sum_1^n a_{nm}$ равна тому же току, но при условии, что все э. д. с. равны 1:

$$\dot{E} = \dot{E}_2 = \ldots = \dot{E}_n = 1.$$

Обозначим ее через $\dot{Y}_m$, т. е.

$$\dot{Y}_m = \sum_1^n a_{nm}. \quad (5)$$

Эта величина легко находится на расчетных приборах.

Равенство (3) можно переписать так:

$$\dot{I}_m = \dot{I}_k^{(m)} - \dot{V}\dot{Y}_m. \quad (6)$$

Обращаясь к шинам подстанции и идя тем же путем, можно легко найти, что

$$\dot{I}_н = \dot{I}_k - \dot{V}\dot{Y}_k. \quad (7)$$

С другой стороны,

$$\dot{I}_н = \dot{V}\dot{Y}_н, \quad (8)$$

где $\dot{Y}_н$ определяется равенством (1).

Из (7) и (8) находим:

$$\dot{V} = \frac{\dot{I}_k}{\dot{Y}_k + \dot{Y}_н}. \quad (9)$$

Таким образом напряжение на шинах нагрузки весьма обобщенно выражается через местный ток короткого замыкания и проводимость нагрузки при заданных э. д. с. и заданной конфигурации системы. Однако $\dot{Y}_н$ в свою очередь по (1) зависит от V, следовательно:

$$\dot{V} = \frac{\dot{I}_k}{\dot{Y}_k - jb_н + g_н - \frac{S^2}{V^2}}. \quad (10)$$

Положим

$$\dot{Y}_k = g_k - jb_k.$$

Тогда

$$\dot{V} = \frac{\dot{I}_k}{\left(g_k + g_н + \frac{S}{V^2}\right) - (b_k + b_н)j},$$

или

$$\dot{V} = \frac{\dot{I}_k}{G + \frac{S}{V^2} - jB}, \quad (11)$$

где

$$G = g_k + g_н$$

и

$$B = b_k + b_н.$$

Необходимо решить это уравнение, помня что V—скаляр вектора $\dot{V}$. Легче всего это сделать, основываясь на свойствах сопряженных векторов.

Положив $\dot{I}_k = i_a + j\,i_p$, находим из (11):

$$\dot{V} = \frac{(i_a + j\,i_p)\left[\left(G + \frac{S}{V^2}\right) + jB\right]}{\left(G + \frac{S}{V^2}\right)^2 + B^2}. \quad (12)$$

Сопряженная комплексная величина произведения комплексных множителей равна произведению сопряженных величин этих множителей. Поэтому вектор V', сопряженный с вектором $\dot{V}$, выражается равенством:

$$\dot{V}' = \frac{(i_a - j\,i_p)\left[\left(G + \frac{S}{V^2}\right) - jB\right]}{\left(G + \frac{S}{V^2}\right)^2 + B^2}. \quad (13)$$

Помножив (12) на (13), получим:

$$\dot{V}\dot{V}' = \frac{i_a^2 + i_p^2}{\left(G + \frac{S}{V^2}\right)^2 + B^2} = \frac{I_k^2}{G^2 + B^2 + \frac{2GS}{V^2} + \frac{S^2}{V^4}},$$

но $\dot{V}\dot{V}' = V_1^2$, поэтому, положив

$$V^2 = \lambda,$$

будем иметь

$$\lambda = \frac{I_k^2}{G^2 + B^2 + \frac{2GS}{\lambda} + \frac{S^2}{\lambda^2}}, \quad (14)$$

откуда

$$(G^2 + B^2)\lambda^2 - (I_k^2 - 2\,GS)\lambda + S^2 = 0. \quad (14_a)$$

Из уравнения (14) легко определить λ, после чего сразу определяется V по (11):

$$\dot{V} = \frac{\dot{I}_k}{G + \frac{S}{\lambda} - jB} = \frac{\dot{I}_k}{G' - jB},$$

где

$$G' = G + \frac{S}{\lambda}. \quad (15)$$

Вместе с этим определяется и ток в генераторе m по уравнению (6).

Таким образом задача легко свелась к нахождению токов короткого замыкания. Однако полученный вывод практически полезен для аналитических подсчетов только при условии, что константы системы не комплексны, т. е. если допустимо пренебрегать омическими и емкостными сопротивлениями системы.

Дальнейшее именно и основано на этом предположении.

Система без активных сопротивлений

Для такой системы коэфициент $a_{1m}, a_{2m}, \ldots, a_{nm}$ в уравнениях (2) (5) суть реактивные проводимости, т. е. можно положить

$$\dot{a}_{1m} = -ja_{1m};\ \dot{a}_{2m} = -ja_{2m}$$

и т. д. [1]).

[1]) Необходимо иметь в виду, что коэфициенты, $\dot{a}_{1m}$, $\dot{a}_{2m}$, ..., a_{nm} за исключением $\dot{a}_{mm}$ суть отрицательные величины, так как токи в рассматриваемом генераторе m, вызываемые э. д. с. $\dot{E}_1$, $\dot{E}_2$, ..., $\dot{E}n$, за исключением $\dot{E}_n$, текут из системы в генератор, в то время как ток, вызываемый э. д. с. рассматриваемого генератора $\dot{E}_m$, течет от генератора в систему. При определении отдельных величин для расчета сверхтоков согласно методу, предложенному автором, различие в знаках отдельных констант учитывается автоматически. При аналитических же вычислениях их надо иметь ввиду.

Прим. ред.

[1]) См. предыдущее примечание.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

а также

$$\dot{I}_m = -jY_m.$$

Следовательно

$$\dot{I}^{(m)} = -j(a_{1m}\dot{E}_1 + a_{2m}\dot{E}_2 + \ldots + a_{nm}\dot{E}_n). \qquad (16)$$

Аналогично можно написать:

$$\dot{I}_k = -j(b_{1m}E_1 + b_2\dot{E}_2 + \ldots + b_n\dot{E}_n). \qquad (17)$$

Пусть э. д. с. $E_1, E_2, \ldots, E_n$ составляют в рассматриваемый момент с некоторой неподвижной осью углы $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$, т. е.

$$\dot{E}_n = E_n(\cos\varphi_n + j\sin\varphi_n) = E_n e^{j\varphi_n}$$

и

$$-jE_n(\cos\varphi_n + j\sin\varphi_n) = E_n\sin\varphi_n - jE_n\cos\varphi_n.$$

Тогда

$$\dot{I}_k^{(m)} = \sum_1^n a_{nm}E_n\sin\varphi_n - j\sum_1^n a_{nm}E_n\cos\varphi_n = I_{ka}^{(m)} - jI_{kp}^{(m)};$$

$$\dot{I}_k = \sum_1^n b_n E_n\sin\varphi_n - j\sum_1^n b_n E_n\cos\varphi_n = I_{ka} - jI_{kp}.$$

Положив

$$E_n\sin\varphi_n = E_{an}$$

и

$$E_n\cos\varphi_n = E_{pn},$$

можем написать

$$\left.\begin{aligned} I_{ka}^{(m)} &= \sum_1^n a_{nm}E_{an};\ I_{ka} = \sum_1^n b_n E_{an}, \\ \dot{I}_{kp}^{(m)} &= \sum_1^n a_{nm}E_{pn};\ I_{kp} = \sum_1^n b_n E_{pn}. \end{aligned}\right\} \qquad (19)$$

Величины $I_{ka}^{(m)}$, $I_{kp}^{(m)}$, I_{ka}, I_{kp} легко находятся обычными приемами вычисления сверхтоков. Так например, вычислив заранее $E_{a1}, E_{a2}, \ldots, E_{an}$ и приписав эти значения э. д. с. соответствующих генераторов, производим подсчет токов при коротком на шинах нагрузки; ток, найденный для точки замыкания, будет равен I_{ka}; токи, найденные в генераторах, будут соответствовать величинам $I_{ka}^{(1)}$, $I_{ka}^{(2)}$ и т. д.

Эти определения чрезвычайно легко сделать на вычислительном столе постоянного тока.

Для того чтобы написать выражение активных и реактивных мощностей, вернемся к уравнениям (16) и (17) и перепишем их в следующем виде:

$$I_k^{(m)} = -j\sum_1^n a_{nm}E_n e^{j\varphi_n},$$

$$\dot{I}_k = -j\sum_1^n b_n E_n e^{j\varphi_n}.$$

Соответственно этому по уравнениям (6) и (15) получим:

$$\dot{I}_m = -j\sum_1^n a_{nm}E_n e^{j\varphi_n} - \frac{-jY_m}{G'-jB}\left(-j\sum_1^n b_n E_n e^{j\varphi_n}\right)$$

или

$$\dot{I}_m = \sum_1^n\left(a_{nm} + \frac{jY_m}{G'-jB}\right)E_n e^{j\left(\varphi_n - \frac{\pi}{2}\right)}.$$

Положив

$$\left(a_{nm} + \frac{jY_m}{G'-jB}\right) = A_{nm} = A_{nm}e^{j\psi_{nm}}; \qquad (20^1)$$

получим

$$\dot{I}_m = \sum_1^n A_{nm}E_n e^{j\left(\varphi_n - \frac{\pi}{2}\right) + \psi_{nm}}. \qquad (21)$$

Помножим $\dot{I}_m$ на величину, сопряженную с $\dot{E}_m$, т. е. на

$$\dot{E}'_m = E_m e^{-j\varphi_m};\ \dot{I}_m\dot{E}_m =$$

$$= \sum_1^n A_{nm}E_m E_n e^{j\left(\varphi_n - \varphi_m\right) - \frac{\pi}{2} + \psi_{nm}},$$

или

$$\dot{I}_m\dot{E}'_m = \sum_1^n A_{nm}E_m E_n\sin(\varphi_n - \varphi_m + \psi_{nm}) - \sum_1^n A_{nm}E_m E_n\cos(\varphi_n - \varphi_m + \psi_{nm}).$$

[1]) В этих формулах необходимо учитывать знак перед константами (см. примечание на стр. 181).

Активная P_m и реактивная G_m мощность генератора m:

$$\left.\begin{aligned} P_m &= \sum_1^n A_{nm}E_m E_n\sin(\varphi_n - \varphi_m + \psi_{nm}); \\ a_m &= -\sum_1^n A_{nm}E_m E_n\cos(\varphi_n - \varphi_m + \psi_{nm}). \end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

Эти уравнения могут быть исходными при решении вопросов устойчивости рассматриваемой системы. Они непосредственно позволяют найти перераспределение мощностей и их избытки при внезапном изменении конфигурации или констант системы. Если же, однако, требуется найти новые состояния равновесия после таких изменений, то вычисление становится затруднительным, так как задача сводится к решению совокупных тригонометрических уравнений.

Если, для примера, в равенстве (1) положить $g_н = 0$, т. е. считать, что активная мощность нагрузки не зависит от напряжения на шинах подстанции, то в рассматриваемой системе, где нет активных сопротивлений, при постоянстве подводимых к генераторам от первичных двигателей мощностей равновесие возможно только при постоянстве отдаваемых генераторами в сеть электрических мощностей. При изменившихся поэтому константах системы или при новой конфигурации ее активные мощности генераторов считаются заданными, а сумма их равна активной мощности нагрузки.

В уравнения активных мощностей (22) входят разности фаз э. д. с. генераторов. Если углы отсчитывать от вектора одной из э. д. с., например, от вектора $\dot{E}_1$, то упомянутые разности определятся через $(n-1)$ неизвестных углов $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$.

Таким образом следует написать $(n-1)$ уравнение, приравнивая активные мощности генераторов заданным величинам; n-уравнение должно удовлетворяться само собой, что может служить проверкой вычислений. Если $n > 3$, то решение уравнений практически мыслимо только способом последовательных приближений. Задавшись вероятными значениями углов $\varphi_2, \varphi_3, \ldots, \varphi_n$, можно определить, например, φ_2 из уравнения

$$\sum_1^n A_{n2}E_2 E_n\sin(\varphi_n - \varphi_2 + \psi_{n2}) = P_2. \qquad (23)$$

Полученное значение φ_2 следует подставить затем в уравнение

$$\sum_1^n A_{n3}E_3 E_n\sin(\varphi_n - \varphi_3 + \varphi_{n3}) = P_3$$

для определения φ_3 и т. д. до φ_n; после нахождения φ_n снова можно вычислить φ_2, исходя уже из более точных значений углов $\varphi_3, \varphi_4, \ldots, \varphi_n$.

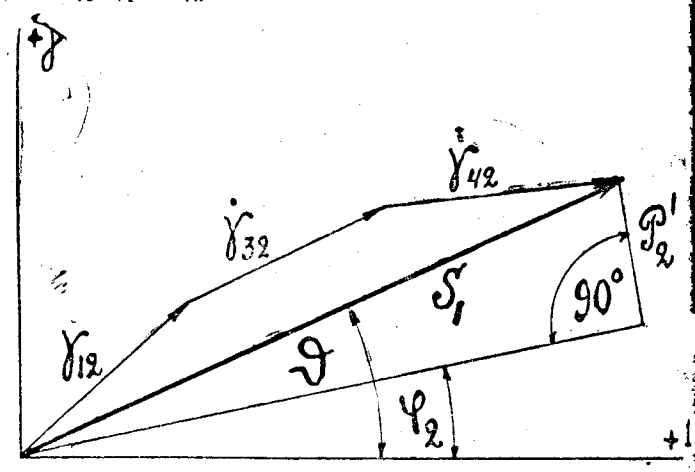


Рис. 1

Уравнение (23) при определенных значениях углов $\varphi_3, \varphi_4, \ldots, \varphi_n$ проще всего решить относительно φ_2 геометрическим построением. Для этого следует построить геометрическую сумму $\dot{S}_1$ векторов:

$$\dot{\gamma}_{12} = A_{12}E_1E_2e^{j\varphi_{12}};\ \dot{\gamma}_{32} = A_{32}E_3E_2e^{j(\varphi_3 + \psi_{32})}$$

и т. д., причем в эту сумму не должен входить вектор

$$A_{32}E_{22}^2e^{j\psi_{22}}.$$

Определив затем величину $P_2' = P_2 - A_{22}E_{22}^2\sin\psi_{22}$, на векторе $\dot{S}_1$, как на гипотенузе, нужно построить прямоугольный треугольник, у которого одним катетом является величина P'_2 (рис. 1). Тогда аргумент второго катета (по отношению к $\dot{E}_1$) будет равен φ_2.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Если сдвиги между э. д. с. генераторов малы, то такое построение не даст точных результатов; оно легко может быть заменено аналитическим вычислением. Обозначим через ϑ аргумент вектора $\dot{S}_1$, получим:

$$\varphi_2 = \vartheta - \beta,$$

причем

$$\sin\beta = \frac{P_2'}{S_1}. \qquad (24)$$

В последних рассуждениях не учитывалось, что величины A_{nm} и ψ_{nm} сами зависят от углов $\varphi_2, \varphi_3, \ldots, \varphi_n$, что видно из соотношений (14), (15) и (20). При подсчете этих величин путем последовательных приближений можно вначале исходить из ориентировочного значения I_k в уравнении (14), уточнив затем это значение согласно (19), после того как величины углов э. д. с. будут известны более точно.

Статический предел мощности

Для каждого из генераторов (или станций) статический предел мощности может быть легко определен на основании уравнений (22). Можно при этом установить понятие „полного" или „безусловного" предела мощности и понятие „относительного" или „условного" предела. Полный предел не может быть превзойден ни при каких изменениях углов э. д. с. Условный предел соответствует предположению, что по отношению к рассматриваемой станции все прочие станции изменяют углы своих э. д. с. одновременно и в одинаковой степени, т. е. что изменения взаимного сдвига между этими э. д. с. не происходит. Относительный предел всегда меньше полного.

Приняв в уравнении (22) для активной мощности отсчет углов э. д. с. от вектора $\dot{E}_m$ (т. е. положив $\varphi_m = 0$), находим:

$$P_m = A_{1m} E_m E_1 \sin(\varphi_1 + \psi_{1m}) + A_{2m} E_m E_2 \sin(\varphi_2 + \psi_{2m}) + \\ + A_{nm} E_m E_n \sin(\varphi_n + \psi_{nm}) + A_{mm} E_m^2 \sin\psi_{mm}.$$

Так как величины A_{1m}, A_{2m} и т. д., а равно $E_1, E_2, \ldots, E_n$ положительны, то P_m приобретает наибольшее положительное значение $P_{\max}^{(m)}$ при

$$\sin(\varphi_1 + \psi_{1m}) = \sin(\varphi_2 + \psi_{2m}) = \sin(\varphi_n + \psi_{nm}) = 1,$$

т. е. при

$$\varphi_1 + \psi_{1m} = \varphi_2 + \psi_{2m} = \ldots = \frac{\pi}{2}$$

и, следовательно,

$$P_{\max}^{(m)} = A_{1m} E_m E_1 + A_{2m} E_m E_2 + \ldots + A_{nm} E_n E_m + \\ + A_{mm} E_m^2. \qquad (25)$$

Это и есть полный предел мощности. Для нахождения относительного предела мощности, который зависит от взаимного сдвига э. д. с. станций, рассматриваемых по отношению к данной станции как единое целое, следует построить геометрическую сумму векторов

$$A_{1m} E_m E_1 e^{j(\varphi_1 + \psi_{1m})};\ A_{2m} E_m E_2 e^{j(\varphi_2 + \psi_{2m})};\\ A_{3m} E_m E_3 e^{j(\varphi_3 + \psi_{3m})}$$

и т. д., исключая вектор

$$A_{mm} E_m^2 e^{j\psi_{mm}}.$$

Пусть найдено

$$T = T e^{j\psi},$$

тогда

$$P_m = T \sin\psi + A_{mm} E_m^2 \sin\psi_{mm}. \qquad (26)$$

Если генераторы, внешние по отношению к данной станции, не меняют взаимного сдвига своих э. д. с., то наибольшее значение P_m будет при $\sin\psi = 1$, т. е.

$$P_{\max}^{(m)} = T + A_{mm} E_m^2 \sin\psi_{mm}. \qquad (27)$$

Это и есть относительный предел мощности.

Для оценки устойчивости работы данной станции этот предел имеет большее значение, нежели полный предел.

Таким образом при ориентировочных подсчетах устойчивости в сложных электрических системах целесообразно заменить нагрузку ответвлением, активное сопротивление которого зависит от напряжения; при этом можно, пренебрегая активными сопротивлениями системы, аналитически найти значение мощностей отдельных станций и пределы мощности при любом их числе. Задача сводится, главным образом, к нахождению токов короткого замыкания и комбинированных констант системы, что легко может быть выполнено на расчетном столе постоянного тока.

Библиография

„Электрические станции" на просмотре

„Электрические станции", ежемесячный журнал Энергоцентра НКТП СССР. Год издания второй.

Журнал „Электрические станции" образовался в результате слияния двух журналов: „Бюллетеня инжколлективов МОГЭС" и „Известий Электротока" (в журнале „Электричество").

„Электрические станции" — производственно-технический журнал, освещающий опыт строительства и эксплоатации крупных электрических станций СССР, а также опыт и достижения заграничной практики.

Задача журнала заключается в освещении той громадной творческой работы, которую ведут рабочие и инженерно-технические работники, участвующие в социалистическом строительстве электрических станций. Перед журналом поставлена задача содействия социалистическому строительству и повышению квалификации инжтехперсонала.

Программа журнала, изложенная в № 4 „Бюллетеня инжколлективов МОГЭС", была целиком воспринята журналом „Электрические станции" (№ 7—8, 1930) и имеет установку на массового читателя и на массового автора. „Читателем журнала должен быть не только инженер, техник или мастер, но и всякий квалифицированный работник электрической станции". „Автором статей журнала должен быть каждый читатель" (там же стр. 384). Так формулирует свои задачи журнал „Электрические станции".

Посмотрим, насколько редакция выполняет поставленные перед журналом задачи и насколько правильно дана журналу принципиальная установка.

В декабре 1931 г. исполнилось десять лет со дня издания декрета СНК РСФСР об электрификации России (21 декабря 1921 г.), согласно которому утверждался план строительства в течение 10—15 лет 31 районной электростанции с общей установленной мощностью около 1,5 млн. kW (1 425 тыс. kW). Известно, как Ленин смотрел на роль и значение плана электрификации: „Чего стоят все „планы" (и все „плановые комиссии" и „плановые программы") без плана электрификации. Ничего не стоят" [1]).

План электрификации зародился и создавался в годы величайшей разрухи, голода, холода, эпидемий, военных фронтов. Находились тогда оппортунистические шептуны, которые твердили о „нереальности" плана и его преждевременности.

На итогах плана ГОЭЛРО останавливается М. А. Смирнов (№ 1, 1931). Статья заключает в себе также статистический материал по каждой электростанции и указывает на качественные сдвиги, происходящие в характере использования топлива для электростанций. В 1920 г. на местном топливе (торфе и мазуте) [2] работало 34% станций по установленной мощности; а сейчас мы имеем обратную картину: 66% электростанций по установленной мощности работают на местном топливе (торф, штыб, отходы нефти, вода). $^2/_3$ установленной мощности создается использованием местного топлива—это огромнейшее качественное достижение реализации плана ГОЭЛРО.

Значительны также и темпы прироста мощности и выработки электроэнергии. В 1931 г. мы достигли прироста мощности на 77% по отношению к предыдущему году, в то время как темпы прироста мощности за границей весьма мизерны (Англия—5,4% в 1928 г., Германия—8,6% в 1928 г., Италия—12,7% в 1929 г.). По выработке электроэнергии мы имеем темп прироста у нас (в 1927/28 г.—26%, 1928/29 г.—20%, 1929/30 г.—24% и 1931 г.—44%), в то время как средний прирост в САСШ [3] по отношению к предыдущему году дает: 1927 г.—8,59%, 1928 г.—9,5%, 1929 г.—10,8% и 1930 г.—уменьшение выработки на 2%.

---

[1]) „Записки института Ленина", т. III, 6—7. Письма Г. М. Кржижановскому об электрификации. Разрядка Ленина.

[2]) На мазуте—бакинские станции.

[3]) См. „Проблемы мирового хозяйства", № 1, 1931, стр. 124.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Такие крупные достижения возможны были только при решительной борьбе за промфинплан, в борьбе за действительно большевистские темпы на основе хозрасчета. Этому вопросу посвящены статьи Ф. А. Дица (№ 7—8 за 1930 и № 5 за 1931 г.).

Ф. А. Диц дает политически совершенно неправильную установку в вопросе о промфинплане и хозрасчете, заявляя, что ряд обстоятельств „вносит условность в выполнение промфинплана отдельных станций, а следовательно, и в хозрасчет" (стр. 266). Такие заявления об условности промфинплана равносильны даче указаний о его невыполнении и противоречат установке партии и т. Сталина по этому поводу. „Реальность нашей программы—это живые люди, это мы с вами, наша воля к труду, наша готовность работать по-новому, наша решимость выполнить план" [1]). Ф. А. Диц ссылается на различные „кон'юнктурные" и „метеорологические" условия.

Эти статьи дают общие указания, как промфинплан довести до цеха, до станка, „чтобы привлечь рабочую массу к активному участию в борьбе за промфинплан". Применение промфинплана к каждому цеху (топливный цех, котельная, машинный зал, механические мастерские) с учетом особенностей каждого цеха, автором статьи излагается довольно обще без расчленения работ цеха на отдельные функции, подлежащие учету.

Принципы хозрасчета на электростанциях должны быть построены с учетом всех особенностей работы электростанций как тепловых, так и гидравлических. В статье, однако, нет указаний о промфинплане и хозрасчете на теплоэлектроцентралях. Хозрасчет же на теплоэлектроцентралях благодаря использованию тепла на стороне существенно видоизменяется.

Об итогах и выводах за III квартал по линии строительства говорит передовая № 10, 1931 г.

Несмотря на колоссальные успехи в деле электростроительства, выполнение программы капитальных работ 1931 г. имело ряд прорывов. Намеченный годовой план ввода мощностей районных станций свыше 1 млн. kW по кварталам не выполнялся. I квартал дал 126 тыс. kW, что составляет 57,8 квартального плана, II квартал дал 79 тыс. kW, т. е. 48,2% против квартального плана, III квартал—170 тыс kW, т. е. 87,6% против квартального плана. За все три квартала получилось недовыполнение в 35%.

Отсюда боевая задача дня—выполнение плана IV квартала и обеспечение полной ликвидации прорыва прежних кварталов.

Однако передовая не мобилизует общественность на основе развернутой самокритики всех недочетов в организации электростроительства, а сосредоточивает основное внимание на „об'ективных причинах", виновности других организаций в прорыве: ВЭО, Котлотурбины, Союзсредмашины.

Такую же примерно картину мы имеем и по линии эксплоатации электростанций: на ряду с улучшением качественных показателей по сравнению с прошлым годом, мы все же план 1931 г. недовыполнили. П. А. Садкин (№ 10, 1931 г.) правильно указывает, что против годовой выработки электроэнергии (по плану в 6 759 млн. kWh) мы за 8 мес. выработали 3 396,7 млн. kWh, или 85,3 плана, утвержденного правлением Энергоцентра на восемь месяцев. По плану прирост электроэнергии должен составить 68% по сравнению с 1930 г. „Этот прирост в 2—2½ раза превышает годовые приросты, имевшие место во все предшествующие годы бурного роста электрификации страны, и на 21% больше прироста 1931 г., когда последний достиг огромной величины в 46,9%". Отсюда должен быть дан боевой призыв бороться по-большевистски за киловаттчасы, за выполнение плана выработки электроэнергии, но, к сожалению, такой установки статья не дает.

По удельному расходу топлива получается снижение (0,90 kg/kWh) против (0,94 kg/kWh) прошлого года за рассматриваемый период на 4,3%. Но план фактически не выполняется. По стоимости единицы электроэнергии первое полугодие дало 5,04 коп. за 1 kWh против 4,3 коп. за 1 kWh годового плана. За второе полугодие ожидается 5,1 коп. за 1 kWh (у потребителя), т. е. ожидается недовыполнение планового задания на 0,773 коп. за 1 kWh. Решающим моментом здесь в выполнении промфинплана являются строжайшая экономия топлива, рационализация, улучшение cos φ.

И в этой части в статье отсутствует боевой клич экономии топлива. В этом основной минус статьи по актуальнейшему вопросу. Спокойный анализ и отсутствие боевых выводов—вот установка этой статьи. Мы должны драться за промфинплан! К этому нужно призвать инженерно-технический персонал и рабочие массы.

Уже приступлено к составлению „второго плана ГОЭЛРО". „Электрификация осуществит роль реконструктора и организатора нового механизированного и автоматизированного производства, если электрический ток проникнет во все процессы нашей деятельности" (Ю. Н. Флаксерман, № 6, за 1931 г.). В новом генеральном плане электрификации сохраняется основной принцип электроснабжения: „Мы имеем все технико-экономические предпосылки, чтобы строить наиболее рационально социалистическую систему единого энергетического хозяйства". „Доподлинная электрификация—это техника социализма" (там же стр. 324). Установка на гигантские агрегаты, на максимальное использование местного топлива, на сжигание топлива в пылевидном или взвешенном состоянии, на использование топок с нижней подачей (стокера), на передачу энергии постоянным током высокого напряжения—вот отправные технические предпосылки генплана, совершенно правильно указанные т. Флаксерманом.

Нам кажется лишь преждевременным категоричность утверждения, что „на основании всего опыта, который мы имеем на сегодняшний день, мы должны отбросить и систему Тюри и систему трансвертеров и сосредоточить внимание на скорейшем получении положительных результатов от катодных и ионных преобразователей" (там же стр. 325).

Электротехническая мысль работает над преобразователями. Существуют различные виды преобразователей, как например: магнетотроны, тиратроны, радиотроны (газотроны), рихтенверкеры. Передачи больших мощностей постоянным током на большие расстояния требуют еще самых тщательных испытаний и широкой дискуссии.

Журналу „Электрические станции" необходимо дать широкое освещение имеющемуся у нас лабораторному опыту, а также заграничной практики по данному вопросу.

Но проблема передачи больших мощностей на любые расстояния по системе постоянного тока еще не может получить пока широкого промышленного применения. Все же эта проблема должна быть разрешена к моменту создания единой высоковольтной сети Союза. Западные буржуазные электротехники предлагают для Европы ввести единую высоковольтную сеть. Вторая всемирная энергетическая конференция заслушала несколько таких проектов (Оливена, Шенгольцева, Виеля и др.). Все эти проекты интересны по своему техническому плану, но они несбыточны в условиях капитализма. А вот С. А. Кукель-Краевский (оказавшийся вредителем) пишет (№ 9, 1930 г.), что от проекта Оливена „в первое время часть выгод извлекут капиталистические общества Западной Европы", т. е. автор скрыто говорит о реальности этого проекта в капиталистических условиях.

Вопросам защиты станций и линий передач журнал „Электрические станции" уделяет достаточное внимание. Статья П. Г. Грудинского, Кашталева, Л. Е. Соловьева (№ 7—8, 1930 г.) посвящена описанию типовых схем защиты генераторов, а статья А. Б. Чернина (там же) дает подробное описание защиты генераторов от замыкания на корпус (на землю).

Недостаток коллективной статьи П. Г. Грудинского и др. тот, что весьма ценный и многочисленный материал о типовых схемах защиты анализируется недостаточно критически; авторы большею частью прибегают к краткому, лаконическому перечислению принципов работы, положительных и отрицательных сторон той или иной схемы.

Выгодно отличается своим обстоятельным изложением в этом отношении статья А. Б. Чернина. В общем обе статьи дают достаточный фактический материал: о схемах защиты с заземленной нейтралью, защите с искусственным повышением тока заземления, стопроцентной защите системы AEG, о системе BBC, Siemens, о защите посредством ваттметрового реле; статьи дают схемы, применяемые на станциях МОГЭС и пр.

Интересная статья Е. А. Ламдон (№ 3, 1931 г.) посвящена описанию защиты системы Translay, свободной от недостатков диференциальной защиты.

Статья А. К. Бонишко (№ 7, 1931 г.) дает детальное описание диференциальной защиты трансформаторов на Челябинской ГЭС. Статья представляет интерес описанием защиты фирмы General Electric Co. Диференциальное реле ДЕС основано на разности действия нормальных сбалансированных токов и токов не баланса, в то время как обычное реле по принципу защиты Merz-Price являются амперными реле, действующими на основании только токов не баланса.

В журнале имеется также материал по защите трансформаторов при помощи реле Бухгольца.

Реле Бухгольца в общем себя оправдали на практике и довольно чувствительны. Но бывают и такие случаи с аппаратом Бухгольца, которые говорят о неполной его надежности. Описаны они в статье В. С. и Б. К. (№ 7—8, 1930 г.) и в статье В. П. Сабельникова (№ 6, 1931 г.).

Материал о работе Бухгольца дает также заметка С. Л. Лапана (№ 5, 1931 г., стр. 299).

Авторы В. С. и Б. К. говорят, что „аварии реле Бухгольца ни разу не давали сигнала" (стр. 474). На этот факт фирма

[1]) Из речи т. Сталина на совещании хозяйственников от 22 июня 1931 г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

обратила внимание и письмом в редакцию заявила, что реле Бухгольца в описываемом случае аварии было приключено на сигнал, но не на выключатель. Аварии описаны также в ст. Б. В. Кулешова и В. Н. Степанова (№ 9, 1931 г.). Аварии имели место из-за плохой просушки проходных втулок.

Журнал уделяет внимание также вопросам перенапряжения и борьбе с ними.

Интересный случай защиты от прямых ударов описан Б. Арышовым (№ 11—12, 1930 г.); В. И. Залесский описывает (№ 10, 1930 г. и № 6, 1931 г.) новые разрядники „тайрит" фирмы ДЕС и „Новый вентильный разрядник" Westingause. У нас ВЭО приступает к производству нового вида разрядника Ocelite по типу, близкому к „тайриту" (стр. 380).

Б. А. Архипов и Н. А. Поляк дают очень обстоятельный анализ практики повреждений от перенапряжений на МОГЭС (№ 6, 1931 г.), деля все перенапряжения на два основных класса: 1) от атмосферных разрядов и 2) перенапряжения коммутационные.

Обращаясь к вопросам топлива для электростанций, следует отметить, что журнал „Электрические станции" уделял особое внимание проблеме торфа. Мощность торфоэлектроцентралей возрастает в 1932 г. до 1 млн. kW. В СССР 40% торфа идет для электростанций. Между тем, торфяная проблема встретила экономическую преграду: капитальные затраты на добычу торфа (гидроторф) слишком высоки и доходят до 30 руб. за тонну, а себестоимость до 9 руб. 10 коп. (данные 1928 г.). Это могло бы задержать развитие торфоэлектроцентралей. Естественно, что была забита тревога и теплотехническая мысль стала работать над другими способами добычи торфа с целью удешевления его себестоимости. Кстати сказать, вредители всячески тормозили опыты по сжиганию фрезерного торфа. Редакция правильно заостряет внимание на фрезерной добыче торфа (№ 3, 1931 г.), который должен снизить себестоимость его до 4 р. 10 к. (стр. 62), уменьшая капитальные затраты вдвое. Сжигание фрезерного торфа уменьшает стоимость топливной слагающей киловатт-часа на 30%. Благодаря переходу на фрезерный торф получается удешевление электроэнергии в размере 12—15%. Целый ряд инженеров (работники Теплотехнического института), например Шершнев, Мочалов и др., занимаются изобретением различных систем топок для лучшего сжигания крошек фрезерного торфа. А опытные сжигания фрезерного торфа производятся на заводе „Красный Профинтерн" в Брянске и уже получены благоприятные результаты (см. № 1, 1931 г., статью И. З. Миттельмана), положительные же результаты дает опыт сжигания фрезерного торфа и на Шатурской ГЭС.

Обстоятельный материал имеется в журнале (№ 7—8, 1930 г.) о станции „Красный Октябрь" (Ленинград) мощностью в 108 тыс. kW. Наиболее интересным является описание новой в мире конструкции торфоподачи, устройство по последнему слову техники машинного зала, с планировкой станции по принципу „бабочки" (машинный зал—посередине, по бокам одинаковые котельные). Об этой весьма интересной станции написаны три солидных статьи.

Важнейшей проблемой являются также пылесжигание и сжигание с нижней подачей угля. Материалы по первому вопросу дают статьи С. И. Алмазова (№ 3—4, 1930 г.), В. Д. Кирпичникова (№ 2, 1930 г.), Н. П. Подгорбунского и Я. М. Юдина (№ 10, 1930 г.), С. Е. Шаумана (№ 1), Д. А. Самойлова и А. П. Четвериченко (№ 2, 1931 г.), А. М. Комарова и А. Я. Магарей (№ 4, 1931 г.), Л. М. Срибнера (№ 3, 1930 г.), П. И. Киселева (№ 3, 1931 г.) и др.

Самый существенный вопрос в эксплоатации пылевидного топлива—это пылеприготовление. Способ пылеприготовления во многом зависит от свойств и характера самого угля. Поэтому, очевидно, редакция задалась целью дать побольше материалов из этой области. К сожалению, мы не находим итоговой статьи, систематизирующей весь опыт сжигания пылевидного топлива. Нет директивной статьи, дающей указания о технической политике в этой области. Это необходимо сделать и для учета опыта и для заострения внимания на этой важнейшей проблеме. Теплотехническая мысль в СССР направлена сейчас на усовершенствование индивидуальной системы пылеприготовления, дающей удешевление стоимости сжигания одной тонны сырого угля в 2—$2^1/_2$ раза, а эксплотационных расходов и ремонта в $1^1/_2$ раза. К сожалению, редакция не уделяет этому достаточного внимания.

Недостаточно освещен и вопрос сжигания топлива с нижней подачей (стокер). Имеется лишь одна содержательная статья А. И. Габриелова и Д. А. Самойлова (№ 3, 1931 г.), описывающая стокерную установку на 1-й ТЭЦ. Стокерные установки получили наиболее широкое распространение за последние 30 лет в Америке. Своими преимуществами (малые потери от неполноты сгорания, малый провал топлива, высокая эластичность, высокая удельная мощность) стокерная система сразу завоевала права гражданства для определенных сортов угля и успешно конкурирует иногда даже с пылевидной системой. В то время как „цепная решетка под одним котлом может давать максимально 100 t пара в час, имеются единицы в 4 000 m², оборудованные стокерами шириной 12 m с площадью решетки 57 m² и дающие до 200 t пара в час" (стр. 138). Но стокера наиболее годны для углей с содержанием летучих не ниже 14% [1]). Нижний предел плавления шлака для стокеров 1 100° С. При бедности летучих и крупнозернистости годна цепная решетка. Угли с плохим шлакованием лучше сжигать в виде пыли. На выбор топок оказывает влияние также степень спекаемости углей. Спекающиеся угли более годятся для стокеров. Стокерная система для нас представляет большой интерес в связи, например, с кизеловскими углями. Конечно, при современном уровне техники, при установках мощных и сверхмощных агрегатов пылевидное сжигание имеет несравненные преимущества, так как не встречает ограничений в сорте топлива.

Однако редакции необходимо широко осветить на своих страницах американский и советский опыты сжигания угля по стокерной системе и дать сравнительный анализ систем топливосжигания.

Весьма актуальной проблемой в деле электрификации страны является проблема высокого давления.

Подсчет выгод установок на высоком давлении приводится для проекта станции 2-й МГЭС в статье Р. И. Виндмана и С. Е. Шипмана (№ 4, 1930 г.). Подсчет был произведен на давление в 35 at и 100 at, причем получилась стоимость киловаттчаса при работе на чистую теплофикацию при давлении 35 at—5,09 коп., при 100 at—4,25 коп., т. е. удешевление на 16,5 коп. Экономия, которую дает установка от применения 100 at давления, исчислена в 510 тыс. руб. в год при 5 000 часов использования (стр. 195).

Преимущества котлов высокого давления несомненны. Например, котел системы Бенсона, установленный на ст. Лангербрюне в Германии (№ 2 „Тепло и сила", 1930, статья М. С. Шкроба) на давление 224,2 at повышенного нагрева 502 m², температуры перегрева 450° С, дает 100—130 t пара в час. Вся установка стоит 870 000 долларов, а на установленный киловатт приходится 36 долларов. Это дает уменьшение на 25% по сравнению с затратами на установленный киловатт той же станции.

Наша теплоцентраль Теплотехнического института высокого давления является опытной в области высокого давления. Теплоцентраль должна дать тепло предприятиям Ленинской слободы и электроэнергию в общую сеть МОГЭС.

Первая очередь теплоцентрали Теплотехнического института строится на 600 000 kW с котлами Лефлера на давление 130 at. Характерной особенностью этих котлов является подогрев воды не в топке огневым способом, а паром вне топочного пространства. В топку же пар идет по трубкам. Таким образом рабочим теплом в топочном пространстве служит не вода, а пар. Теплоцентраль уже дает пар и горячую воду, а 1 октября 1932 г. будет пущена вся станция. Вторая очередь будет строиться на котлах конструкции Бенсона и Теплотехнического института с давлением в 225 at.

Журналу необходимо дать описание этой мощности установки с лучшим в мире оборудованием наивысшей производительности (130—160 t/h).

Журнал „Электрические станции" дает большой материал по целому ряду других важнейших вопросов. Имеются статьи о типах подстанций,—какие подстанции нам нужно строить: закрытого или открытого типа, высокого или низкого или средние. Есть целый ряд статей о работе линии на деревянных опорах, о подстанциях на деревянных и бетонных опорах—вопросы весьма актуальные в связи с ощущающимся у нас дефицитом металла. Имеются статьи об улучшении коэфициента мощности, о сталеалюминиевых проводах и пр. Журнал дает обстоятельное техническое описание ленинградской станции „Красный октябрь" (№ 7—8, 1930 г. и др.) и других торфяных станций, станций Донбасса (Штеровская).

В общем, журнал „Электрические станции" дает большой технический материал, увязанный с практическими задачами строительства и эксплоатации электрических станций.

„Журнал обслуживается лучшими техническими силами непосредственных работников производства. Журнал отражает опыт электростроительства и создает, таким образом, периодическую техническую журнальную литературу о центральных электрических станциях Союза.

---

[1]) См. Archiv für Warmewirtschaft, № 9, 1930, по „Энергетическому обозрению" № 7, 1931 г., стр. 41.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Но журнал „Электрические станции" имеет при этом ряд значительных недочетов.

Техническая политика партии в области электростроительства и эксплоатации электрических станций должна находить систематическое отражение на страницах журнала. А между тем, журнал „Электрические станции" является журналом, узкотрестовского типа. Журнал описывает, большей частью, опыт строительства и работы электростанции и в лучшем случае дает технический анализ и выводы, но необходимых технико экономических выводов и установок технической политики, не говоря уже о марксистско-ленинском анализе, журнал не дает.

Мы не всегда находим в журнале статьи, систематизирующие опыт строительства и работы электростанции в плоскости актуальнейших проблем электрификации, статьи, дающие директивные указания по конкретным вопросам технической политики в области электрификации. Так, мы не находим в журнале изложения проблемы передачи больших мощностей на большие расстояния; нет статей, достаточно освещающих опыт строительства и эксплоатации теплоэлектроцентралей и задач теплофикации; нет об'единяющей и систематизирующей директивной статьи по вопросу о сжигании пылевидного топлива и освещающей эту проблему в связи с системой стокера; в журнале, например, не освещен вопрос диспетчерской службы и параллельной работы электрических станций—вопросы весьма важные в связи с кольцеванием электростанций; не затронут вопрос о технической политике в области сланцевой проблемы и т. п.

Журнал допускает иногда даже грубейшие политические ошибки, как, например, в статьях С. А. Кукель-Краевского и Ф. А. Дица (указано выше).

В журнале совершенно недостаточно обще-политических статей по генеральным лозунгам коммунистической партии, имеющим отношение к технической политике; нет статей о решениях партс'ездов и ЦК партии по хозяйственным и технико-политическим вопросам. Например, мы не находим в журнале за рассматриваемый нами период ни одной передовой по вопросу о лозунгах т. Сталина об овладении техникой о борьбе за технико-экономическую независимость СССР и пр. Мы не находим даже краткого освещения урало-кузнецкой проблемы. Все эти вопросы, как и некоторые другие, должны находить на страницах журнала „Электрические станции" своевременное политическое и техническое освещение. Все это говорит о недооценке значения „политики в технике".

В журнале нет также достаточного материала и необходимого анализа экономических факторов электростроительства и эксплоатации. Между тем, экономика должна получать большое место в технических журналах. Мы не находим в журнале итогов хозрасчета, соцсоревнования и ударничества как на стройках, так и на станциях. В журнале отсутствуют также статьи по вопросу о методологии хозрасчета и снижении себестоимости на строительствах. Эти вопросы являются важнейшими и актуальнейшими проблемами сегодняшнего дня и на ближайший период. Журналу „Электрические станции" необходимо уделять больше внимания экономике электрохозяйства, глубже анализировать экономическую действительность и на основе технико-экономического марксистского анализа делать политические выводы.

Отсутствие статей по вопросам общей политики в связи с электрификацией страны и непосредственное освещение экономических вопросов и вопросов технической политики—существеннейший пробел журнала „Электрические станции".

А как обстоит дело с марксистско-ленинской методологией в журнале „Электрические станции"? Обстоит, как в подавляющем большинстве наших технических журналов, совсем неблагополучно. Нет ни одной технической статьи с марксистским анализом технических моментов.

По части организационных недочетов следует указать еще на следующие: журнал не всегда помещает необходимый материал и не всегда помещает его по определенной системе. Кроме того, редакция помещает в одном номере самый разнообразный материал: и об оборудовании, и о защите, и о подстанциях, и о сетях, и о собственных нуждах и пр. В каждом номере следует концентрировать материал по основным стержневым вопросам. При распределении материала по функциональному принципу, по однородности материала журнал, несомненно, выиграет. Необходимо организованное руководство и в планировании поступления материала в журнал, и в распределении его по номерам. В журнале необходимо побольше помещать информационного, хроникерского материала. Хроника по энергохозяйству у нас и за границей должна найти достаточное место на страницах журнала „Электрические станции". Журнал необходимо оживить по форме изложения. Клише и фотографии должны быть значительно улучшены.

П. Алисов

За большевистскую партийную воинственность в научно-технической литературе

О журнале „Электрические станции" [1])

1. Журнал должен быть рассчитан на квалифицированных работников электрических станций—инженеров и техников, по преимуществу, а также на студенчество старших курсов специальности ЦЭС. Этой установке журнал отвечает.

2. Задачи журнала. В общей системе электроэнергетической периодической печати журнал должен обеспечивать:

а) Освещение технических и экономических вопросов проектирования, строительства и эксплоатации электрических станций (конденсационных, теплоэлектроцентралей и гидростанций) в основном по электрической их части, опыт в этой области за границей и вопросы научно-исследовательской работы на данном участке электрификации.

б) Освещение связанных с пунктом „а" проблем в области передач высоким напряжением (подстанции, устойчивость параллельной работы и т. п.).

в) Освещение вопросов рационализации и организации производства и кадров.

Все эти вопросы должны освещаться журналом под углом зрения марксистско-ленинской методологии, генеральной линии партии в области технической реконструкции и хозяйственно-политических директив партии. Журнал должен вести борьбу против оппортунистических извращений в электростроительстве. Журнал должен пронизывать все свое содержание четкими установками в области технической политики на данном (ведущем) участке электрификации, подчиняя тематику проблеме построения энергетической системы социалистического хозяйства. Опыт капиталистических стран должен освещаться критически с точки зрения условий и возможностей планового социалистического хозяйства.

Журнал мобилизовал в 1931 г. большое количество ценного фактического материала по электротехническим вопросам: электрическое хозяйство и электрические схемы крупных станций (Штеровка, Магнитогорская, Бобрики, Сталгрэс и др.); распределительные устройства; типы и конструкции подстанций; защита генераторов: по вопросам теплотехнического оборудования и топлива, топки и мельницы (Каширская ГРЭС), фрезерный торф (Брянская ГРЭС, Шатура), установки высокого давления (топки Тейлор Стекер, 1 ТЭЦ); пылесжигание тощего угля; вопросы эксплоатации станций; аварий и их учет (Шатура и др.), осадка фундаментов и вибрация турбогенераторов, аварии в сетях и т. д.

Однако весь этот богатый информацией научно-технический материал носит, главным образом, описательный характер и подается без достаточного критического и исторического анализа.

В журнале нет четкого упора на освещение, по преимуществу, электрической части станций и на освещение, в связи с этой частью, общих и наиболее актуальных вопросов теплотехнического оборудования и топлива. По этой линии целесообразно провести ясное разграничение между журналами „Электрические станции" и „Тепло и сила", предоставив последнему развернутое освещение теплотехнической части ЦЭС. Журнал базируется на самотеке, и отдельные номера лишены стержневого планового начала. Рекомендуется ввести тематические разделы в журнале.

Вопросы экономики освещаются в журнале чрезвычайно скудно и должны получить значительно более широкое место.

[1]) Выводы, принятые бюро секции технической реконструкции и электрификации института техники на основе материалов совещания по журн. „Электрические станции" в Комакадемии 1 декабря 1931 г., доклада т. Флаксермана (отв. редакт.), содоклада т. Алисова и заключения т. Климовицкого.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Руководящих политических статей в журнале явно недостаточно. В ряде напечатанных статей допущены неправильные установки. Так, в передовой статье „Третий квартал электростроительства" (№ 7) все недочеты и прорывы промфинплана электростроительства об'ясняются „об'ективными причинами". Из статьи следует, что виноваты во всем ВЭО, Союзсредмашина и Котлотурбина. В статье не развернута самокритика на основе 6 условий т. Сталина.

В передовой статье „Хозрасчет и энергохозяйство" (№ 5) допущена правооппортунистическая трактовка вопроса о степени влияния энергоснабжающей системы (станции) на „переменные расходы" и количество отпуска энергии". Эта трактовка смазывает возможность активного и сознательного влияния плановой системы социалистического хозяйства и самой станции в этой системе, на количество вырабатываемой станцией энергии. В журнале нет критического разбора опыта электростроительства за границей.

В журнале отсутствует отдел активной критической библиографии на литературу по электрическим станциям.

В журнале отсутствует партийная воинственность в постановке актуальных вопросов электростроительства (например, не проводится мобилизация внимания инженерно-технической общественности и хозяйственников вокруг прорывов в работе НИГРЭС и других станций, не мобилизуется внимание на строительстве подстанций и сетей, не разоблачаются вредительские установки, оппортунизм в теории и практике электростроительства и т. д.).

На этой стороне дела журнал особенно должен сосредоточить свое внимание.

ХРОНИКА

Получение неона в СССР — победа на физико-техническом фронте

Инертные или редкие газы, какими являются неон, гелий, криптон и ксенон, приобрели в современной технике совершенно исключительное значение. Достаточно указать, что такие проблемы, как телевидение, говорящее кино, получение новых источников света и многие другие, не могут быть разрешены без получения этих газов. Они необходимы для наполнения различных вакуумных трубок и приборов, представляющих отдельные части тех сложных установок, с помощью которых разрешают эти проблемы.

Красный свет неоновых ламп значительно лучше проникает через туман, чем белый свет обычных маяков. Этим определяется то значение, которое неоновые маяки имеют для мореплавания и аэронавигации. Инертные газы необходимы также для решения различных задач, выдвигаемых обороной нашей страны, а гелий, в частности, требуется для наполнения дирижаблей. Особенно интересно применение инертных газов для получения новых источников света. С их помощью удается увеличить во много раз световую отдачу (с 4%, как это имеет место в лучших современных источниках света, до 80%; например, в лампе Пирани, дающей монохроматический желтый свет).

Инертные газы получались нами до сих пор исключительно из-за границы. Все эти обстоятельства заставили при создании свето-вакуумтехнического отдела ВЭИ предусмотреть особую лабораторию низких температур для получения химически чистых инертных газов и для разработки методов их получения в заводском масштабе (следует при этом отметить, что производство неона, например, в Германии является настолько секретным, что доступ на такие заводы, даже для лиц, занимающихся только научными вопросами, почти невозможен). Ввиду незначительного процентного содержания этих газов в атмосфере (неона 0,002%, гелия—в 5 раз меньше, а криптона и ксенона в 20 и 200 раз меньше, чем неона), есть смысл получать их вместе с азотом и кислородом на больших заводах, перерабатывающих атмосферный воздух, причем от мощности этих заводов зависит об'ем производства инертных газов. Принимая во внимание, что спрос на неон чрезвычайно возрос за последние годы за границей и он сделался дефицитным товаром, мы могли бы в ближайшее время очутиться перед ограничением вызова неона из Германии, что выдвигает вопрос о производстве неона в СССР.

В настоящее время работа лаборатории низких температур ВЭИ увенчалась полным успехом, и вопрос о получении неона в СССР может считаться решенным.

Уже первые порции неона, полученные в мае 1931 г., показали, что те азотные установки, которые были нами изучены, могут дать в час около 13 l неоно-гелиевой смеси, что в расчете на один только неон может дать в год экономию свыше $1^1/_2$ млн. руб. валюты по существующим сейчас в Германии ценам, и освободит нас от заграничной зависимости в этом отношении.

Этого количества полностью хватит, чтобы обеспечить начинающую развиваться у нас индустрию приборов с неоновым наполнением. Возможность иметь дешевый советский неон даст сильный толчок к развитию этой индустрии, технические перспективы которой так значительны и так разнообразны. Что касается очистки и отделения неона от гелия, то большая работа, проведенная в этом направлении в световакуумтехническом отделе ВЭИ, привела к разрешению и этого вопроса. Е. Е. Вишневским и техником Н. В. Вагиной уже разработаны лабораторные методы, могущие на первое время давать в достаточном количестве как технически чистый, так и спектрально чистый неон. Произведенные на Электрозаводе опыты по наполнению неоновых ламп нашим технически чистым неоном показали, что по своим качествам советский неон нисколько не уступает заграничному, и потому отпадает необходимость в его импорте. В настоящее время научно-технические работы световакуумного отдела ВЭИ уже производятся на нашем неоне.

Ближайшая задача, которая сейчас стоит перед лабораторией низких температур,—это разработка специальной аппаратуры для получения неона не только на азотных колоннах, но и на всех кислородных установках, которых имеется в Союзе уже достаточное количество. Это даст возможность развить мощную неоновую индустрию и использовать все ценные отходы, которые сейчас пропадают без всякой пользы, улетучиваясь обратно в воздух. Другой не менее важной задачей является получение редких газов гелия, криптона и ксенона, а также изучение стойств электрических процессов при низких температурах.

Таким образом световакуумтехнический отдел ВЭИ в результате исследования, проведенного в 1931 г., добился впервые возможности получить неон в пределах нашего Союза. Проделанная до сих пор работа является наиболее сложной частью проблемы получения редких газов, и потому ее разрешение оказывается надежным фундаментом для развития этой индустрии и дает уверенность в выполнении в возможно короткий срок и остальных намеченных выше задач, стоящих перед лабораторией и газовой промышленностью Союза, в соответствии с директивой партии и правительства „догнать и перегнать" в технико-экономическом отношении передовые капиталистические страны в ближайшие 10 лет.

В. Н. Романов

Теплоэлектроцентраль им. Сталина (б. Дангауэровская ТЭЦ [1])

Для постройки ТЭЦ Сталинского района Москвы отводится участок в Дангауэровской слободе, вблизи железнодорожной ст. Сортировочная Московско-Казанской дороги и в двух километрах от ст. Перово. Участок этот располагается вдоль шоссе Энтузиастов, и размеры его около 650 × 300 m.

Сталинская ТЭЦ проектируется мощностью в 225 тыс. kW. В первую очередь устанавливаются один агрегат в 25 тыс. kW с турбиной с противодавлением и 3 паровых котла по 1 500 m² для стандартных параметров для пара 34,29 at при 425/400° C. Затем устанавливаются 4 агрегата по 50 тыс. kW с конденсационными турбинами и двумя регулируемыми отборами, при начальных параметрах для пара 60/55 at при 450/425° C. В дальнейшем предполагается расширение приблизительно до 350 375 тыс. kW.

В отношении водоснабжения Сталинская ТЭЦ находится не в особенно благоприятных условиях. Расстояние до р. Москвы по прямому направлению достигает около 3 km. Поэтому приходится прибегать к последовательному охлаждению циркуля-

[1]) По материалам Центрального энергетического совета (ЦЭС).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ционной воды на градирнях, каковых для первой очереди ставится 3, каждая на охлаждение 7 500 m³ воды в час. При дальнейшем расширении проектируется установка четвертой градирни.

Для покрытия всех потерь воды на станции будет поступать москворецкая вода из водопровода, общего с заводом „Серп и молот".

Расположение основных зданий ТЭЦ на участке показано на ситуационном плане в следующем порядке: главный корпус располагается параллельно шоссе Энтузиастов в расстоянии от него около 110 m и от границы участка около 80 m. По длине участка главный корпус первой очереди располагается приблизительно в середине. Между главным корпусом и границей участка размещаются открытая повысительная подстанция и здание распределительного устройства. К правому торцу машинной примыкает здание служебных помещений. На расстоянии около 65 m от него располагаются градирни. Расширение главного корпуса возможно в левую сторону.

Для обслуживания ТЭЦ железнодорожным транспортом строится ветка от путей ст. Сортировочная Московско Казанской ж. д. Железнодорожные пути на территории ТЭЦ разработаны таким образом, что возможна подача вагонов через две дробильные установки. Перед фронтом котельной оставлено свободное место для размещения оборудования улавливания сернистых газов и для постройки дымовых труб.

Принятое расположение отдельных зданий и сооружений на участке согласно заключению эксперта может быть признано приемлемым. Некоторое неудобство представляет пересечение железнодорожных путей. Но этого избежать невозможно, если учесть необходимость обслуживания машинного здания и повысительной подстанции. Узел, где пересекаются пути, придется сделать удобно разбираемым на время подачи вагонов к машинной и к подстанциям. На это время придется останавливать подачу топлива, что возможно при пятидневном запасе его на складе.

Рассмотрев представленный вопрос о выборе места для Сталинской ТЭЦ, ЦЭС постановил:

1. Выбор места для Сталинской ТЭЦ со строительной стороны одобрить.

2. Одобряя общую компановку ситуационного плана, предложить строительству предусмотреть на участке место для шести градирен, производительностью в 7 500 m³/час.

3. Взаимное расположение распределительного устройства 6,3 kV и открытой повысительной подстанции по отношению к машинному залу признать удовлетворительным. Учитывая тесноту участка, необходимо запроектировать здание распределительного устройства 6,3 kV таким образом, чтобы расширение было проведено за счет двухрядного расположения распределительного устройства, если выяснится, что однородное расположение не может удовлетворить максимальную мощность, включая расширение.

4. До окончательного решения следует выяснить количество выводов на 35 kV и количество сблокированных генераторов непосредственно со своими трансформаторами помимо шин 6,3 kV. В противном случае—взять размеры распределительного устройства 6,3 kV на все генераторы.

5. Предложить проектирующей организации составить рабочие чертежи контуров здания распределительного устройства 6,3 kV и подстанции, а также выводов и выхода линии с участка станции.

Водоснабжение Краснодарской станции второй очереди [1])

Паровая станция Краснодарск, мощность которой равна сейчас 10 000 kW, должна быть расширена установкой двух новых агрегатов по 24 000 kW. Уже теперь предусматривается и третье—очередное расширение с установкой еще 2 агрегатов по 24 000 kW, так что по окончании строительства установленная мощность будет равна 106 000 kW.

Водоснабжение станции базируется на р. Кубань, на правом берегу которой она расположена. Расстояние от берега до фасада станции, обращенного к реке, составляет около 100 m.

Колебания горизонта р. Кубани характеризуются следующими цифрами:

а) наивысший паводочный горизонт—НПГ 22,32 m;

б) средний меженный горизонт—СМГ 18,00—18,50 m;

в) минимальный горизонт—МГ 16,60 m.

Пойма реки у станции лежит на отметке около 25,00 m, станция расположена на отметке + 26,00 m.

Согласно проверенным буровым работам почва образована здесь на поверхности слоем чернозема в 1,5 m толщины, под которым следует слой песка плывуна свыше 9,0 m толщины. Под этим слоем, начиная с отметки + 11,00 m, лежит цветная глина.

Забор воды из реки предполагается на 70 m вниз по течению от водозаборного сооружения для теперешней установки. Ввиду высокого содержания в воде взвешенных наносов водозаборное сооружение непосредственно связано с отстойником. Последний состоит из двух отдельных секций по 6,0 m ширины и 26,7 m длины, из коих каждый имеет со стороны реки 3 водоприемных отверстия с грубой решеткой, забральной стенкой и щитовыми затворами. Ширина отверстий в свету равна 1,6 m, высота в свету отверстий, закрытых решетками, равна 3,4 m, щитового отверстия—2,4 m; фронт водоприемников почти параллелен направлению реки.

Дно реки перед водопусками находится на отметке + 14,4 m порог водоспуска—на отметке 14,6 m. Дно отстойных бассейнов имеет воронкообразные углубления приблизительно квадратной формы и в 2,5 m глубины. В самом глубоком месте устроен небольшой насосный зумпер, из которого осажденные насосы удаляются при помощи насоса „Маммут". В каждом отстойном бассейне устраиваются четыре такие воронки и столько же насосов „Маммут". Для задержания сора в 19 m за щитовыми затворами устроены двойные проволочные сороудержательные сетки с ячейками в 15×15 mm (передняя сетка) и в 10×10 mm (задняя сетка), которые вынимаются (каждая в отдельности) и очищаются посредством промывания; каждый бассейн рассчитан на полный расход воды, равный 3,5 m³/sek.; максимальная скорость прохода воды (при МГ) составляет при этом 0,24 m/sek. Нормальная скорость гораздо меньше и составляет лишь 0,77 m/sek.

Водозаборное сооружение и отстойник стоят на общей железобетонной фундаментной плите в 31,1 m длины и 15,6 m ширины. Предварительная подготовка из тощего бетона имеет 40 cm толщины, нижняя поверхность которого находится на отметке + 10,9 m, т. е. лежит в указанной выше цветной длине. Замыкает от реки деревянный шпунт.

Отстойные бассейны впадают в два отдельных перекрытых железобетонных канала по 1,5×2,2 m в поперечном сечении, подводящие воды к насосным колодцам перед силовой станцией. Эти колодцы имеют в плане овальное поперечное сечение (4,8×3,0 m); для каждого из обоих конденсаторов предусмотрен колодец, вокруг которого ведутся оба подводящих канала; соединительные отверстия между колодцами и каналом имеют щитовые затворы. Для каждого из обоих конденсаторов предусмотрены два циркуляционных насоса, всасывающие трубы которых ведут в насосный колодец. Нижняя отметка всасывающих труб со стороны впуска находится на 70 cm ниже наиболее низкого горизонта воды колодца.

Отводящие трубы впадают сначала в особые бассейны, из которых отходящая вода ведется через водослив в отводящий канал с высотой в свету в 1,95 m и шириной в свету в 1,8 m, который может пропустить всего 7 m³/sek. Он сбрасывается в реку на 60 m выше водозаборного сооружения, и сконструирован в виде быстротока. Дно реки быстротока укреплено посредством ряжей, загруженных камнями.

При строительстве третьеочередной части станции, предполагающем расширение еще на 2 агрегата по 24 000 kW, не имеется в виду расширять водоразборное сооружение и подводящие и отводящие каналы, а предполагается лишь удлинение этих каналов.

Рассмотрев представленный проект, ЦЭС постановил:

1. Отметить, что настоящее постановление касается только гидротехнической части проекта водоснабжение Краснодарской электростанции второй очереди.

2. Отметить, что конструктивные размеры отдельных сооружений не могут быть проверены, так как в проекте отсутствуют как строительные расчеты, так и другие относящиеся сюда данные.

3. Считать возможным и при этих условиях общую схему установки одобрить.

4. Согласиться с предложением проектирующей организации о возможности удаления могущих откладываться наносов в главном сооружении с помощью рефулера.

5. При составлении рабочего проекта проработать вопрос об устройстве грубой решетки ящичной конструкции для экономии одной забральной стенки.

6. В рабочем проекте предусмотреть установку за головным сооружением разделительных и успокоительных решеток, которые обеспечили бы равномерное распределение скорости по всему поперечному сечению камеры.

7. Предложить проектирующей организации проработать варианты о выборе или системы насоса „Дюфур", или системы

[1]) По материалам ЦЭС.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

перемещающегося вдоль сооружения грязевого насоса. Окончательный выбор варианта считать возможным произвести самим строительством.

8. В том случае, если по окончании строительства будет работать лишь одна камера (длина ее будет слишком мала), полезная длина должна составлять, по меньшей мере, 25 m между последней успокоительной решеткой и проволочной сороудержательной сеткой.

9. Представленный материал подлежит утверждению как технический, с учетом вышеприведенных замечаний.

Технический проект Ижевской ТЭЦ [1])

Согласно эскизному проекту мощность станции была предусмотрена в 48 000 kW, причем в первую очередь устанавливались 2 турбогенератора по 12 000 kW, а во вторую — 1 турбогенератор в 24 000 kW. Впоследствии, однако, мощность станции была установлена Энергоцентром в 36 000 kW: впервую очередь—2 агрегата по 12 000 kW, а во вторую очередь—1 агрегат в 12 000 kW, как это запроектировано сейчас и представлено техническим проектом.

Годовая отдача электроэнергии определена в 108 млн. kWh.

Потребность в паре и тепле установлена: 70 000 млн. cal в год на отопление 232 000 t пара 10 at на силовые нужды и 60 000 t пара 3,5 at на мелкие технические нужды. Вместе с потерями годовой расход на силовые нужды составляет 243 000 t.

Что касается электрической схемы, то в будущем предвидится параллельная работа с Среднекамской сарапульской государственной районной станцией.

Все генераторы работают на 6,3 kV шины, которые запроектированы двойными с междушинным соединительным масляным выключателем. К шинам присоединяются городские и заводские фидера, а во вторую очередь намечается присоединение повысительных трансформаторов.

На основании этого ЦЭС постановлено: представленный проект в части тепловой, водоснабжения и электрической (кроме строительной части, каковая не была представлена) подлежит утверждению как технический, с учетом замечаний экспертизы и нижеприведенных замечаний:

По тепловой части. 1. Отметить, что несмотря на постановление ЦЭС при утверждении эскизного проекта (октябрь 1930 г.) о необходимости до составления технического проекта выяснения вопроса количества и рода топлива, обеспечивающего работу станции, до сих пор ничего точно не установлено.

2. Отметить, что после составления технического проекта представленного на утверждение ЦЭС, потребителем вносятся дополнения и изменения данных, меняющие первоначальные задания, на основе которых сделаны уже заказы на оборудование.

3. Отметить, что представленный в ЦЭС технический проект не является законченным за отсутствием проекта топок под котлами и установления определенной тепловой схемы.

4. На основе постановления Энергоцентра с установкой в первую очередь 2 теплофикационных турбин по 12 000 kW каждая на давление 29 at, перегрев 400°C с регулируемым отбором пара в 10,5 и 1,2—2 at каждый и нерегулируемых в 3,5 и 1,2—1 at согласиться.

5. Установку пяти котлов ЛМЗ 1 500 m² с мощностью нормально 75 t/h и максимально 90 t/h на давление 33 at с водяными экономайзерами и воздушными подогревателями утвердить.

6. Кольцевой питательный трубопровод и паровую схему два котла, турбина—утвердить.

7. Установку на каждый агрегат турбины двух конденсационных и двух циркуляционных насосов утвердить, причем один насос приводится в движение электромотором, второй—электромотором и турбиной.

8. Предложить строительству уточнить вопрос о бойлерной установке.

9. Утвердить принципиальную схему с установкой химической очистки воды способом Штейнмюллера или пермутитов, отметив, что способом Штейнмюллера можно довести жесткость ее до 0. Последний может быть осуществим на заводах СССР. Вопрос этот должен быть проконсультирован специалистами, привлеченными самим строительством.

10. Установку по две штуки дымососов производительностью 50% и вентиляторов воздуха утвердить с обязательством иметь в запасе на складе по одному агрегату.

11. Общую схему заготовки щепы и топливоподачу утвердить.

По водоснабжению. 1. Считать, что мощность станции в 36 000 kW водой обеспечена.

2. Использование существующего пруда для циркуляционного водоснабжения считать правильным.

3. Дополнительно уточнить возможную минимальную отметку воды в пруде и в соответствии с этим проверить отметки заложения водоприемника и водоподводящего канала.

4. Схему водоподводящего канала в виде двух водоводов из бетонных труб одобрить, отмечая, однако, отсутствие данных по грунтам по трассе канала. Предложить строительству в пределах прохода канала у главного здания, в случае если грунты окажутся слабыми, водоносные бетонные трубы заменить двойным железобетонным водоводом.

5. Ввиду отсутствия данных о грунтах по линии водоотводящего канала и трудности проведения водоотводящего канала по заливу пруда предложить строительству сделать геологические обследования трассы и проверить механическую и экономическую целесообразность проведения канала по заливу.

6. Считая нецелесообразным прокладку водоотводящего канала по всей территории станции в виде закрытого железобетонного канала, предложить строительству ограничиться закрытой частью лишь на участке до повысительной подстанции, а в остальной части перейти на открытый канал.

Эскизный проект Среднекамской (Сарапульской) ГРЭС [2])

Среднекамская ГРЭС предназначается для снабжения электроэнергией Сарапульского, Воткинского и Ижевского районов, причем с конца 1933 г. она будет работать параллельно с Ижевской станцией.

Среднекамская ГРЭС проектируется на полную установленную мощность 72 000 kW в виде 3 конденсационных агрегатов по 24 000 kW при рабочей мощности 48 000 kW. Для покрытия собственных нужд станции устанавливается турбогенератор мощностью 4 000 kW.

В котельной устанавливается 5 котлов поверхностью нагрева по 1 500 m².

Место постройки станции намечается на левом берегу р. Камы у Камского кордона. Наинизшие отметки воды в р. Каме в этом месте 62,25 и максимальная зарегистрированная в 1914 г.—73,69.

Берег р. Камы в выбранном месте крутой. Отмерки станционной площадки колеблются от 73 до 82 и в пределах главного здания станции от 81 до 76. Станционная площадка планируется на отметке 75.

Станционный участок не соединяется железнодорожными путями с существующими железнодорожными магистралями, и единственным способом транспорта строительных материалов и оборудования является водный транспорт по р. Каме.

Территория станции оборудуется ширококолейными путями для передвижения по территории постройки основного оборудования и стройматериалов, а также узкоколейными путями для частичного транспорта топлива.

Топливом для Среднекамской ГРЭС является торф, получаемый в размере 62% с Галевского торфяного болота, расположенного в 12 km от станции, и в размере 38% с Кемульского и Костоватовского болот, расположенных в 40 km ниже по течению р. Камы.

На территории Среднекамской ГРЭС намечаются к постройке следующие здания: главный корпус, распределительное устройство с пультом, береговая насосная, водоприемник, здание мастерских, холодные и теплые склады, гараж и пожарное депо, депо мотовозов, главная и проходная конторы.

На этом основании ЦЭС постановил:

По тепловой части. 1. Утвердить установку из 3 турбогенераторов мощностью в 72 тыс. kW стандартного типа завода ЛМЗ, для работы двух и одного в резерве, с установкой двух в 1934 г., а третьего—в 1936 г.

Принимая во внимание заявление представителя Уральской области, что в связи с проблемой Уралокузбасса необходимо довести мощность станции до 100 тыс. kW, поручить плановому управлению Энергоцентра вопрос этот выяснить и дать окончательное указание о предельной мощности станции, проектирующей организации для учета при составлении технического проекта.

2. Утвердить установку 5 котлов по 1 500 m² на давление 34 at перегрев 425°C, с нормальной паропроизводительностью в 70 t/h, максимальной 90 t/h с экранированными топками для сжигания фрезерного торфа, с воздушным экономайзером для подогрева воздуха до 310°C.

3. Признавая определенные преимущества за вариантом № 4 торфоподачи, окончательное решение вопроса отложить до получения данных о методах торфоразработки, которые будут положены в основу проекта, разрабатываемого Союзторфом.

[1]) По материалам ЦЭС.
[2]) По материалам ЦЭС.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

4. Питательный трубопровод и паропровод утвердить двойными.

5. Установку двух дымососов и двух вентиляторов на каждый котел на 60% максимальной мощности котла утвердить.

6. При разработке технического проекта учесть получение торфа с Дубровского и Частинского болот.

7. Принять стандартную водоиспарительную установку завода ЛМЗ.

По строительной части. 1. Отметить, что отсутствие железнодорожного пути, соединяющего Среднекамскую станцию с железнодорожной магистралью, требует разработки системы мероприятий к своевременному и комплектному получению оборудования, а также мер к получению этого оборудования на месте.

2. Подход под'ездного станционного пути к пристани в перпендикулярном к ней направлении считать нецелесообразным и предложить сделать этот подход параллельно берегу с введением промежуточной кривой.

3. Обосновать отметку площадки станции. Проработать вопрос о заглублении конденсационного помещения и, если это последнее окажется возможным, то расположение сооружений на участке оставить без изменений. В случае если такое заглубление невозможно, проработать вопрос о более компактном расположении сооружений на участке.

При разработке технического проекта проработать вопрос о возможности расположения рабочего поселка на берегу р. Камы выше станции по течению.

По водоснабжению. 1. Систему прямоточного водоснабжения утвердить, а также считать выбранной правильно расчетную кратность охлаждения.

2. Учитывая, что при работе на общую сеть с Ижевской станции необходимо в водоснабжении Среднекамской станции предусмотреть резервы в водоснабжении, предложить строительству при разработке технического проекта предусмотреть при проектировании водоприемника и насосной установки установку четвертого насоса производительностью по 6 000 m³/h.

3. Из трех представленных вариантов забора воды остановиться на втором варианте забора воды при помощи деревянных самоточных каналов.

4. Диаметр сборного коллектора должен быть взят в соответствии с диаметром напорных магистралей, а не в соответствии с диаметром всасывающих труб.

5. Необходимо предусмотреть сброс тепловой воды вниз по течению забора воды.

По электрической части. 1. Хаузгенератор должен быть заменен соответствующими трансформаторами и от главных шин—с соответствующим изменением схемы питания собственных нужд, в связи с чем необходимо запроектировать в техническом проекте 11-kW распределительное устройство.

2. Проработать вопрос о напряжении (38 или 110 kV) для болота.

3. Исключить четвертый провод для 32-kV линии.

4. Предусмотреть трехобмоточные повысительные трансформаторы.

5. Предусмотреть рубильники между секциями групп низковольтных моторов собственных нужд.

6. Железные конструкции повысительной подстанции заменить деревянными.

Учитывая все вышеизложенное, проект как эскизный утвердить.

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

I. Электромашиностроение

16. W. HÜTER. **Опытные данные о воздушных трансформаторах на 1 млн. V_{eff}** „ETZ" № 34, 1931 г., стр. 1084.

В связи с применением на некоторых европейских высоковольтных линиях передач напряжения в 220/380 kV, фирма Voipt Haeffner A. G. должна была переделать свою построенную в 1923 г. испытательную трансформаторную установку с 600 kV на большее напряжение. Старая испытательная установка состояла из соединенных каскадом однофазных масляных трансформаторов по 100 kV.

Увеличение числа трансформаторов было признано нецелесообразным вследствие недостаточной мощности отдельных единиц (60 kVA) и большого рассеяния всей системы, являвшихся причиной значительного перевозбуждения для достижения необходимого зарядного тока (0,08 A при 240 kV).

Схема каскадного включения в течение 9 лет в общем себя оправдала, и лишь ремонт отдельных масляных трансформаторов был неудобен и отнимал много времени.

Помимо того, повреждение катушки трансформаторов, ведущих к бесшумному выгоранию их под маслом, с помощью вольтметра первичной цепи трудно своевременно обнаружить.

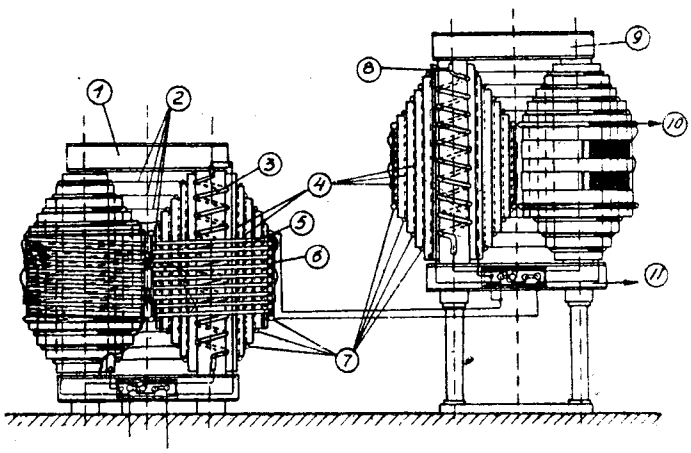


Рис. 1. Соединение двухступенчатой системы воздушных трансформаторов для 1 000 kV_{eff}.

1—станина; *2*—поперечное соединение; *3*—обмотка возбуждения; *4*—обмотка высокого напряжения; *5*—переходная обмотка; *6*—емкостная защита; *7*—улавливатель искр; *8*—обмотка возбуждения; *9*—станина; *10*—потенциал 2 V; *11*—потенциал V; *12*—машина.

Хороший результат работы в 1928 г. с 200 kV воздушным трансформатором, конструкции проф. К. Фишера („ETZ", 1925 г., стр. 186), с однослойными концентрическими катушками на обоих вертикальных сердечниках, наподобие металлических обкладок конденсаторных проходных изоляторов, навел на мысль выбрать этот тип испытательных трансформаторов. На новой установке требовалось обязательно достигнуть 1 млн. V по отношению к земле.

Имелось предложение на трансформатор Фишера на 1 млн. V в одной единице, но несмотря на преимущество малого рассеяния все же остановились на выборе двух отдельных воздушных трансформаторов в каскадном соединении. Рис. 1 дает схему соединения и конструкцию этих трансформаторов. Первый трансформатор стоит на земле, а второй на четырех опорных изоляторах из бакелизированной бумаги. Обмотки низкого напряжения лежат непосредственно на сердечниках и электростатически экранированы от обмоток высокого напряжения. Последние, как у типа Фишера, намотаны однослойно на изолирующие бумажные цилиндры различных длин и диаметров и смонтированы на обоих вертикальных сердечниках. Катушки эти, с помощью легко снимающихся поперечных соединений, соединены между собой последовательно таким образом, что наивысшее напряжение получается посередине самого короткого цилиндра. Кроме того, оба эти короткие цилиндра нижнего трансформатора имеют особую „переходную" обмотку (Übertragungswicklüng) для соединения со вторым трансформатором. Второй трансформатор лишен этой обмотки, но на концах обмотки высокого напряжения имеет два больших экранирующих кольца. Коронирование верхнего трансформатора по отношению к помещению благодаря этим кольцам совершенно устранено и лишь при 975 kV между верхним экранирующим кольцом и расположенными на расстоянии 4 t под крановыми путями появляется тихий разряд. В общем оба трансформатора, благодаря соответствующему экранированию концов обмоток, при 1 млн. V совершено защищены от коронирования.

Мощность комплекта трансформаторов составляет 300 kVA, что для исследований является достаточным. Рассеяние каждого трансформатора составляет 11%, всей установки—40%, так как верхний трансформатор представляет собой безомную нагрузку первого трансформатора.

Практика двухлетней работы этих трансформаторов на заводе высоковольтной аппаратуры показала следующие их преимущества: наивысшая точка трансформатора имеет неполное напряжение, а 500 kV_{eff}, что важно для работы их в закрытом помещении.

Вес их, по сравнению с весом масляных трансформаторов того же напряжения и мощности, меньше, а именно 6 и 5 t. Необходимость в проходных изоляторах (для этих напряжений весьма сложных и громоздких) отпадает. Так как эти транс-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

форматоры находятся внутри помещения, то не требуется и стенных вводов. Кроме того, обмотки этих трансформаторов могут быть под постоянным наблюдением, своевременно замечая повреждения и предохраняя их от больших разрушений. Случайные и редкие разряды на трансформаторах, возникающие или вследствие длинных вольтовых дуг или из-за скопившейся пыли, устраняются экранирующими кольцами, монтированными на концах катушек. В течение 2 лет беспрерывной работы трансформаторов очень редко случалось, чтобы дуга попадала в тонкую обмотку, причем повреждение всегда было легко доступно снаружи, и для ремонта не требовалось даже опускать верхний трансформатор.

Кроме этих преимуществ двухступенчатой каскадной схемы, автор указывает на ряд возможных комбинаций соединений 2 трансформаторов, входящих в нее, именно:

1) После снятия соединительных проводов между обоими трансформаторами и заземления станины первого трансформатора можно, возбудив его непосредственно генератором, получить 500-kV трансформатор с лучшей регулирующей способностью. 2) Одновременно возбудив верхний трансформатор и параллельно соединив стороны высокого напряжения обоих трансформаторов, можно получить трансформатор на 500 kV большой мощности и с меньшим рассеянием. Перевертыванием соединений одного трансформатора получают из предыдущей схемы два трансформатора на 500 kV, соединенных друг против друга, имеющих максимум ± 1 млн. V и ряд других.

Строительная высота описанной системы 2 трансформаторов на 1 млн. V_{eff}. равняется 7,8 m, т. е. не больше, чем у масляных испытательных трансформаторов с вертикальными проходными изоляторами на такое же напряжение.

Необходимая площадь для всей системы равна $7{,}5 \times 3{,}2$ m², т. е. значительно не отличаясь от площади аналогичных масляных трансформаторов.

Описанные испытательные трансформаторы установлены в особом помещении, без окон, высотой 10 m и площадью $36{,}4 \times 13$ m², в котором на высоте 8,3 m (от пола до крюка) расположен электрический кран. Помещение это соединяется с монтажным цехом и испытательной лабораторией высоковольтной аппаратуры с помощью железных дверей. На противоположной к трансформаторам стене имеются отверстия, закрываемые железными створами, для выводов высокого напряжения на двор, который служит для испытаний на открытом воздухе. Напряжение всей системы измеряется обычным способом—искровым промежутком между двумя шарами диаметром в 1 m, причем верхний шар неподвижно подвешен на изолирующей конструкции, нижний же управляется на расстоянии, с командного пульта. У основания нижнего шара помещается большого размера указатель в виде часового циферблата, показывающий длину искрового промежутка, а следовательно, и напряжение при нормальном атмосферном давлении и определенной температуре воздуха. Указатель этот хорошо виден с командного пункта и через стеклянное окошко из монтажного цеха.

Для испытания аппаратов, предназначенных для наружных установок, предусмотрены специальные сопла для дождевания и туманообразования в количестве 10 шт., монтированных на разной высоте. Получение искусственной дождевой воды путем смешения дестиллированной и водопроводной воды достигается с помощью сжатого воздуха; проводимость ее контролируется специальным измерительным прибором.

Несмотря на большое количество испытаний с дождеванием, на хорошо лакированных бумажных цилиндрах трансформаторов не было заметно никаких повреждений.

Отопление всего испытательного помещения об'емом 5 200 m³—циркуляционное. Несмотря на неотделанный цементный пол, пыли на трансформаторах осаждалось мало. После 14-месячной эксплоатации достаточно было трем рабочим, при затрате 8 рабочих дней, разобрать оба трансформатора и основательно обтереть цилиндры и витки, чтобы трансформаторы снова могли быть пущены в работу.

Вводные витки высоковольтной обмотки вначале были защищены от разрядных крутых волн с помощью емкостной защиты из 3 медных лент, обмотанных вокруг самого короткого из цилиндров. Позднее фирма прибавила еще защиту из проволочного сопротивления в 100 000 Ω, намотанного на твердую бумажную трубу, помещенную между искровым промежутком и верхним трансформатором. Стороны низкого напряжения трансформатора защищены комбинацией из омических сопротивлений и емкостей.

Для возбуждения трансформаторов имеются два генератора трехфазного тока 300 и 100 kVA. Этой мощности было вполне достаточно для обнаружения слабых мест в фарфоровых и силлиманитовых опорных изоляторах в изолирующих пластинах из бумаги под маслом при 700—800 kV.

При этих условиях были заснятыи очень интересные осциллограммы напряжений на высоковольтной стороне трансформаторов. Автором в статье приводятся три фотографии осциллограмм при разрядах на искровом разряднике различной формы широкообразными остриями, острие и шар.

Для большинства испытаний мощности в 300 kVA вполне достаточно, так как назначение испытательных установок этого типа—не в копировании случаев разрушения, имеющих место на практике, ибо для этого потребовалась бы мощность крупнейших станций, а лишь испытание диэлектрических свойств различных изоляционных материалов в применяемых разнообразных формах и конструкциях аппаратов. До сего времени описанная испытательная установка на 1 млн. V_{eff} себя оправдала.

Э. Рейхман

II. Техника высокого напряжения и линии передач

17. **Испытание трансформаторов ударными напряжениями** „El. Engn.", № 10, октябрь 1931 г., стр. 823.

В конце августа 1931 г. был проведен ряд интересных испытаний нерезонирующих трансформаторов (однофазных) по 42 000 kVA 220 kV каждый, построенных компанией Вестингауз.

До сих пор столь серьезных испытаний трансформаторов такой величины не производилось. Каждый из трансформаторов был защищен искровым промежутком в 64" и присоединен к „генератору молний" посредством короткой линии, поддерживаемой гирляндой в 14 стандартных изоляторов.

Было выполнено следующее: несколько импульсов, с все возрастающим напряжением, было приложено к трансформатору, пока не произошел пробой искрового промежутка; после этого искровой промежуток был удален и напряжение посылаемых длинных волн увеличивали до тех пор, пока не перекрыло гирлянду в 14 изоляторов; тогда эту гирлянду заменили другой в 21 изолятор и напряжения волн вновь повышали, пока не имело место перекрытие бушинга трансформатора. Чтобы искусственно создать прямой удар молнии, посылалась волна с крутизной фронта в долю микросекунды, напряжение которой достигало пробивного напряжения искрового промежутка.

Первые три опыта показали надежность трансформаторов против длинных волн, которые могут дойти к ним при повышенной изоляции линии в отсутствии защитного искрового промежутка.

Волна с самым крутым фронтом, вызванная естественной молнией, была зарегистрирована Pittman и Tozck и имела крутизну 4000 kV в 1 сек.

Крутизна волны, посланной в четвертом испытании, была почти в 3 раза больше наблюдаемой на практике и, однако, на трансформатор это не оказало никакого влияния.

После этих ударных испытаний были повторены испытания изоляции по нормам Американского института инженеров-электриков, давшие вполне удовлетворительные результаты.

Каварновский

18. C. FORTESCUE. **„Величина индуцированных волн"**, „Journ. E.", № 8, 1930, стр. 459; E. Simpson, Молния, „Journ. E. E.", 1930 г.

Для теоретического обоснования того факта, что регистраторы напряжений не отмечают ударов молнии, происходящих в стороне от линии, Fortescue дает расчет возможной максимальной величины напряжения индуцированной волны.

Исходные положения его следующие: наличие около линии заряженного облака вызывает на ней скопление заряда обратного знака, который располагается под облаком. Потенциал линии остается при этом равным нулю, так как накопление заряда происходит медленно и линия связана с землей через нейтрали трансформаторов. После разряда тучи связанный заряд освобождается и сообщает линии некоторый потенциал, который распространяется в обе стороны от места разряда в виде блуждающих волн.

Если разряд происходит мгновенно, то потенциал, наведенный на линии в любой ее точке, может быть получен на том основании, что освобождение скопившегося на линии заряда сообщает ей тот же самый потенциал, которым бы она обладала, находясь в электрическом поле облака перед ударом молнии, будучи совершенно изолирована от земли.

Так как участвующий в разряде об'ем тучи относительно невелик, то можно считать его сферой, которая равномерно заряжена известным количеством электричества.

Поскольку высота подвеса провода мала по сравнению с высотой тучи ($h < H$), то напряженность поля на участке от провода до земли одинакова по величине и направлена вертикально (рис. 1).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Заменяя влияние земли зеркальным изображением заряда Q (рис. 2), можно получить в точке, находящейся на расстоянии x от проекции облака на землю (туча находится непосредственно над самой линией), величину

$$E = 2E' \cos Q = 2E' \frac{H}{\sqrt{H^2 + x^2}},$$

где E' — напряженность поля точечного заряда.

$$E' = \frac{Q}{r^2} = \frac{Q}{H^2 + x^2}$$

Окончательно

$$E = \frac{2\,Q\,H}{(\sqrt{H^2 + x^2})^3} \qquad (1)$$

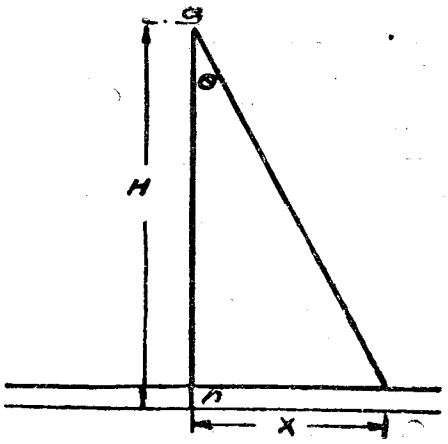


Рис. 1

а потенциал, который имела бы данная точка при абсолютно изолированной линии.

$$\varphi = E \cdot h = \frac{2\,Q\,H\,h}{(\sqrt{H^2 + x^2})^3}. \qquad (2)$$

Однако, разряд происходит не мгновенно, а по какому-то закону x (t). Примем, что разряд происходит при какой-то

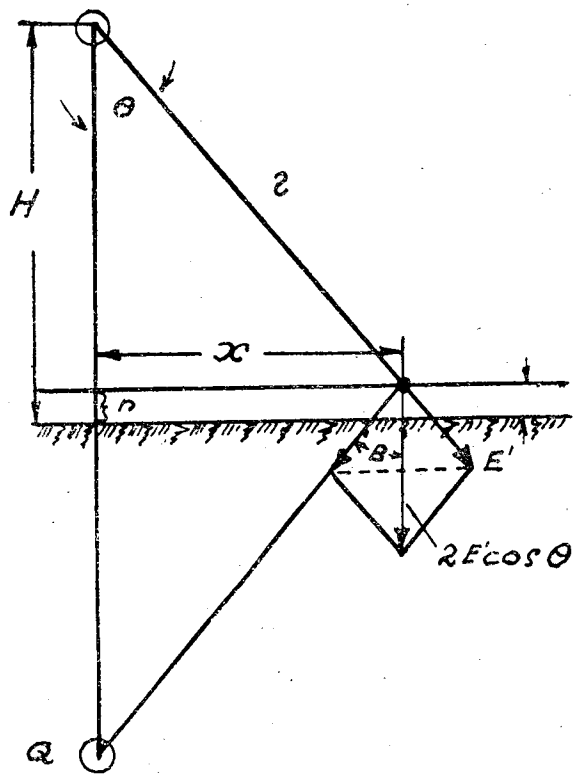


Рис. 2

постоянной силе тока i. Тогда количество электричества, ушедшее в землю за время dt,

$$dQ = iat \qquad (3)$$

и соответственно потенциал, возникший в точке x,

$$c\Delta\varphi = \frac{2\,i\,H\,h}{(H^2 + x^2)^{3/2}}\,\Delta t. \qquad (4)$$

Здесь величина $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/sec вводится потому, что мы неможем измерять ток в абсолютной электростатической системе единиц и переходим к абсолютно электромагнитной системе.

Освобожденный заряд и соответственно возникший потенциал начинают двигаться в обе стороны в виде положительной и отрицательной волны половинной амплитуды:

$$c\Delta\varphi = Hh\left[\frac{1}{\{H^2 + (x + ct)\}^{3/2}} + \frac{1}{\{H^2 + (x - ct)^2\}^{3/2}}\right] i\Delta t. \qquad (5)$$

Формула (5) показывает, что потенциал в каком-нибудь месте линии φx зависит не только от расстояния, но и от времени, и в момент времени t в точке x потенциал будет определяться теми зарядами, которые возникли в момент времени $t = 0$ в точках, находящихся на расстоянии $x + ct$ и соответственно $x - ct$.

Увеличение потенциала в точке x по истечении времени заряда T, освободившегося в какой-то точке x_0 в момент времени $t < T$, определится как

$$d\varphi = Hh\left\{\left[H^2 + (x + cT) - ct\right]^2\right\}^{-3/2} + \left[H^2 + \left\{(x - cT) + ct\right\}^2\right]^{-3/2}, \qquad (6)$$

где положение точки x' определится формулой

$$x' = x \pm c\,(T - t)$$

или расстояние точки x' от точки $x_1 = x - x' = \pm c\,(T - t)$.

Чтобы получить общий потенциал в точке x по истечении времени T, необходимо суммировать все потенциалы, которые возникнут в точке x за время T от всех бегущих элементарных волн

$$\varphi_x = Hh\int_0^T \left\{\left[H^2 + \left\{(x + cT) - ct\right\}^2\right]^{-3/2} + \left[H^2 + \left\{(x - cT) + ct\right\}^2\right]^{-3/2}\right\} dt \qquad (7)$$

Полное решение этого интеграла после подстановки пределов имеет вид:

$$\varphi_T = \frac{ih}{cH}\left(\frac{x + cT}{\sqrt{H^2 + (x + cT)^2}}\right) - \frac{x - cT}{\sqrt{H^2 + (x - cT)^2}}.$$

Для точки, находящейся непосредственно под облаком, потенциал в конце промежутка времени T найдется, если подставить $x = 0$.

$$\varphi_T = \frac{2i\,T\,h}{H\sqrt{H^2 + c^2\,T^2}} \qquad (8)$$

или, переходя к практическим единицам,

$$\varphi_T = \frac{2\,iTh}{H\sqrt{H^2 + c^2\,T^2}}\,9 \cdot 10''\ \mathrm{V} \qquad (9)$$

Когда туча разряжается на расстоянии d от линии, мы можем заменить H^2 через $H^2 + d^2$ и найти максимальную величину напряжения волны на линии для точки $x = 0$:

$$\varphi_T = \frac{2i\,Th}{\sqrt{H^2 + d^2} \cdot \sqrt{H^2 + d^2 + c^2\,T^2}}\,9 \cdot 10''\ \mathrm{V}, \qquad (10)$$

где: i — величина разрядного тока в амперах,
T — полное время разряда в секундах,
H — высота расположения центра разряда тучи от земли в cm,
h — высота линии над землей в cm,
d — расстояние места разряда от линии в cm,
c — скорость света в cm/sec.

Из формул (9) и (10) видно, что потенциал будет возрастать с увеличением времени. Это легко проверить, взяв производную $\frac{qs}{dt}$ и приравняв ее нулю.

Таким образом к моменту прекращения разряда на проводах линии потенциал будет максимальным. Основное грубое допущение этого вывода то, что в течение разряда ток принимается постоянным: $i = \mathrm{const}$.

Заряд, стекающий на землю при одном ударе молнии, оценивается физиками различных стран в 20 кулонов. В практике измерялись токи порядка 100 000 A (фирма GEC° указывает на измеренный ток 176 000 A, но считать эту цифру достаточно надежной нельзя). Во избежание возможности пре-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

уменьшения наведенного потенциала примем $i = 200\,000$ A. Это даст время разряда

$$T = \frac{Q}{i} = \frac{20}{200\,000} = 10^{-4} \text{ sec},$$

или

$$T = 100\ \mu F \text{ sec}.$$

Принимаются следующие данные расчета: высота подвергающейся разряду части облака $H = 1{,}5$ km, или $1{,}5 \cdot 10^5$ cm, высота подвеса проводов $h = 15$ m, или $1{,}5 \cdot 10^3$ cm. Максимальный потенциал, наведенный на проводе при одном ударе, если туча находится непосредственно над линией:

$$\varphi_T = \frac{2iTh\,9 \cdot 10^{-11}}{H\sqrt{H^2 + c^2T^2}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4}\,9 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{1{,}5 \cdot 10^5\sqrt{(1{,}5 \cdot 10)^2 + (3 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-4})^2}} =$$

$$= \frac{36 \cdot 10^5}{\sqrt{2 \cdot 25 + 900}} \backsim 120\,000 \text{ V}$$

Эта величина для высоковольтных линий не опасна.

Этим об'ясняется тот факт, что при большом количестве ударов при одной грозе (в течение часа число ударов доходит до 100) они не отмечаются на осциллограммах.

Расстояние места удара молнии порядка высоты тучи особенно влияет на величину индуцированной волны на линии. Например, когда линия будет отстоять от места удара молнии на 1 600 m, то $V_T = 85\,000$ V, т. е. изменится всего лишь 30%.

Расчет дан для одного удара молнии. При следующем ударе наложения волн не будет, так как в течение промежутка времени от первого удара до второго заряд свободно успеет стечь в землю через нейтрали трансформаторов.

Результаты записи целого ряда исследований на линиях электропередач подтверждают, что величины напряжений индуцированных волн от воздействия прямых ударов не так велики, чтобы причинить серьезные аварии.

Было уже указано, что ряд осциллограмм, снятых при ударе молнии вблизи линии, не отметил волн перенапряжения, т. е. величина индуцированного напряжения не превосходила значения нормального напряжения линии.

Большую часть волн перенапряжения на линиях при грозах нужно отнести за счет прямых ударов, которые не всегда направляются главным каналом в линию или трос (при разряде положительной полярности), а часто ответвляются от главного канала.

А. Беляков

---

19. H. H. CKILLING. **Корона и перенапряжения на линии** El. Engn. № 10, октябрь 1931, стр. 798—801.

В технической литературе часто высказывается мысль, что если допустить при рабочем напряжении на линии корону, то она может увеличить затухание волны, распространяющейся по линии.

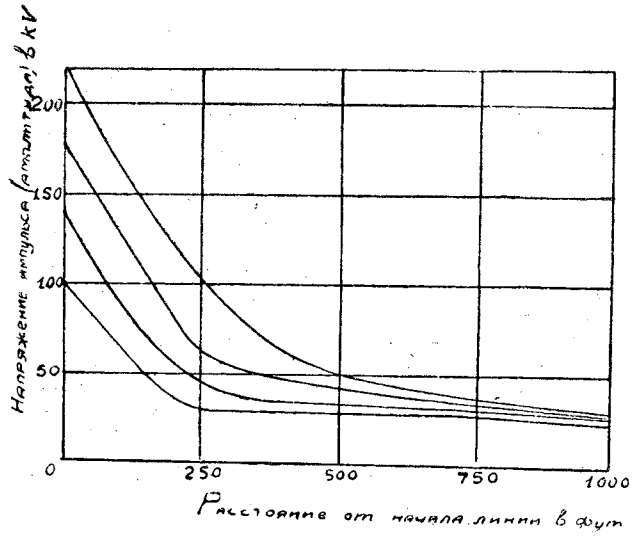


Рис. 1

Однако это не так. Если волна, появившаяся благодаря молнии, имеет напряжение выше коронного, то вокруг проводника вместе с движением волны воздух будет ионизироваться; появится корона, и потери, вызываемые ею, уменьшат энергию волны и ее напряжение. Когда же это напряжение будет меньше критического напряжения короны, быстрота затухания волны резко упадет вследствие прекращения короны.

На рис. 1 показана полученная опытным путем зависимость между напряжением волны и расстоянием от начала линии. Характерно, что волны 100 и 200 kV_{max} затухают быстро, пока их напряжение выше коронного (для данной линии практическое напряжение короны при 60 пер/сек — 30 $kV_{действ}$ или максимум 43).

Если линия коронирует при рабочем напряжении, то явление затухания бегущей волны будет протекать иначе, что и было исследовано автором.

Волны вдоль линии длиной 1 000 фут. посылались генератором молнии, способным давать импульсы напряжением до 440 kV с крутизной фронта 0,05 μ sec. Суммарное напряжение (волны+рабочее) измерялось с помощью шаровых разрядников на концах линии и в нескольких промежуточных точках.

При отсутствии рабочего напряжения была послана волна в 133 kV и измерено напряжение в точке, отстоящей на 150 фут. от начала линии.

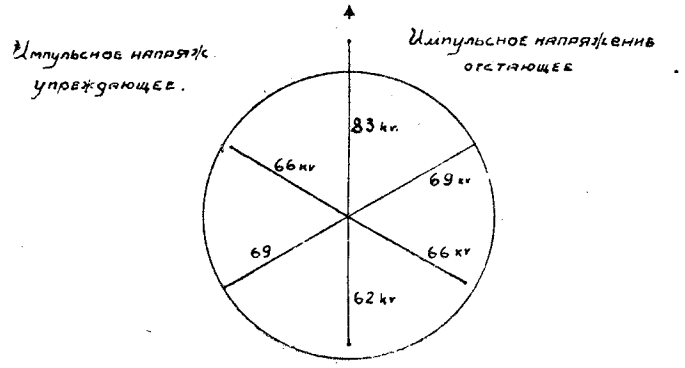


Рис. 2

Затем, на линию было подано рабочее напряжение 40 kV (при котором линия коронировала), и импульсы налагались в момент прохождения через максимум рабочего напряжения при одинаковых и разных полярностях рабочего и импульсного напряжений и в той же точке измерялось суммарное напряжение. Подобные же измерения были сделаны, когда импульс налагался на рабочее напряжение через 60, 120 градусов после прохождения через максимум при одинаковых и разных полярностях.

Результаты показаны на рис. 2. Автор приходит к выводу, что пространственный заряд, имеющийся около проводника при короне, влияет на величину затухания импульсной волны. Если волна, появляющаяся на коронирующей линии, одного знака с основным напряжением, то пространственный заряд, вызванный этим напряжением, будет препятствовать затуханию волны. Если они разных знаков, то пространственный заряд оказывает обратное действие, которое однако весьма слабо.

Таким образом корона рабочего напряжения будет препятствовать затуханию волны одинакового знака с волной рабочего напряжения и в малой степени способствовать уменьшению амплитуды бегущей волны при разных полярностях.

Предполагая, что потеря энергии волны пропорциональна ее напряжению, автором выводится формула:

$$x = m\left\{n - [E + e\lg e\ \ (E - e)]\right\},$$

где m и n — некоторые постоянные, E — импульсное напряжение в точке x, e — коронное напряжение, x — расстояние от начала линии.

Подсчитанное по этой формуле напряжение импульса в разных точках близко сходится с опытным.

Казарновский

III. Реле и измерительные приборы

20. T. G. LECLAIR. **Релейная защита систем с непосредственной связью между станциями.** „El. Engn.", июль 1931 г.

Создание идеальной защиты крупной сети возможно двумя путями: 1) путем надлежащей конструкции сети и связанного с ней оборудования (предупредительная техника) и 2) локализация и уменьшение случаев возможных аварий (защитная техника).

Конструкции сетей крупных городов Соединенных Штатов характеризуются тремя типичными схемами.

1. Система со слабой связью (loose linked) между генераторными станциями в Детройте.

Каждая группа распределительных контуров питается подстанцией; группа подстанций имеет свою генераторную станцию, вполне обеспечивающую энергией данный район. Районы, питаемые различными генераторными станциями, связаны кабельными линиями, передаваемая мощность которых мала по сравнению с полной мощностью станции, но достаточна для обеспечения обмена энергией между сетями при перегруз-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ках. В случае аварии каждый район быстро и полностью отключается от своих соседей.

2. Система „синхронизации под нагрузкой" (Synchronized ot—the—load) в Нью-Йорке.

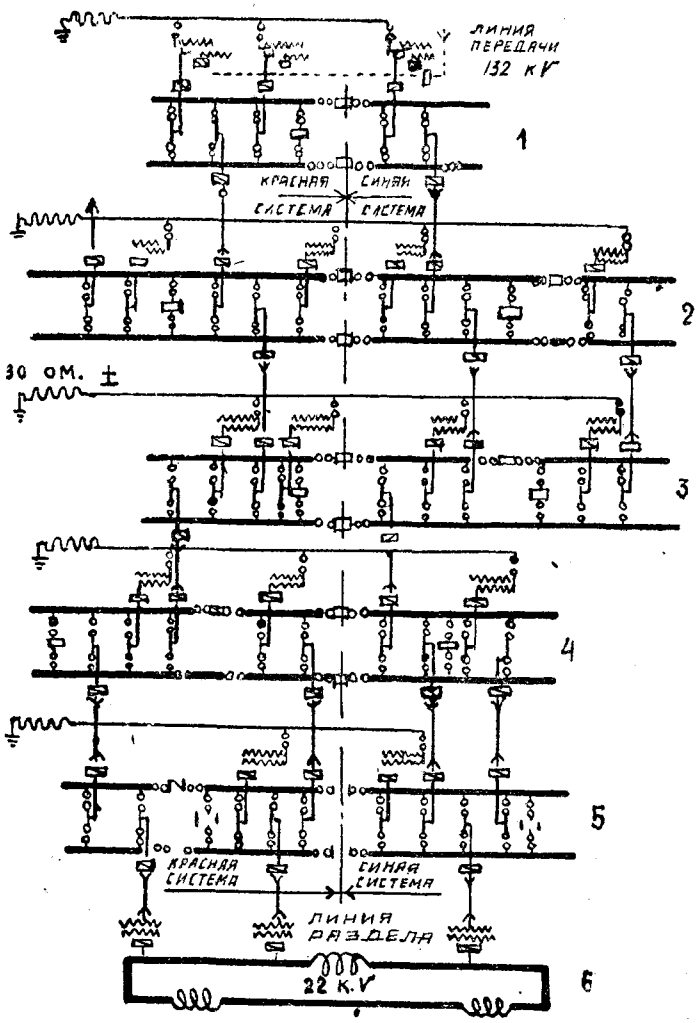


Рис. 1 Схема сети с „непосредственной связью" между станциями в Чикаго; *1—6*—шины генераторных станций

Генераторные станции расположены вблизи центров нагрузки; все питательные линии коротки и расположены таким образом, что каждая станция может питать все центры нагрузки или любой из них. Таким образом при выпадании какой-либо станции перерыва в снабжении не происходит. Токи короткого замыкания в этой сети сравнительно невелики (подробнее об этих двух системах см. Trans. AIEE, октябрь 1929 г., стр. 1080).

3. Система с „непосредственной связью" (close linked) между генераторными станциями или „шинная система" в Чикаго.

Не связанные между собою нагрузки питаются от разных источников. Последние связаны с линиями передачи, которые можно рассматривать как общие шины для всех станций.

Принципиальная схема чикагской сети представлена на рис. 1. Общая мощность шести генераторных станций составляет 1 248 900 kW. Станции соединены 66-kV линиями весьма малой реактивности, так что падение напряжения при максимальной нагрузке на всем их протяжении не превышает 3—4%. Для уменьшения токов короткого замыкания, которые в такой сети могут быть весьма значительны, вся система электрически разделена на две части (рис. 1 — на рисунках они для наглядности обозначены как „красная" и „синяя" системы). В случае надобности, между этими частями на той или другой станции может быть произведено соединение, что однако, бывает лишь в редких случаях. Таким образом в сущности имеют место две независимые сети, и авария одной из них не оказывает на другую никакого влияния.

Для дальнейшего снижения величины токов короткого замыкания на всех подстанциях и переключательных пунктах предусмотрена система с уединением фаз. На открытых подстанциях каждая фаза, с относящимся к ней оборудованием отделяется от соседней расстоянием не менее чем на 9 m, причем между ними ставится высокий металлический экран. На закрытых подстанциях в 66 и 12 kV каждая фаза располагается в отдельном помещении. Проводники, идущие от шин, приключаются к муфте трехфазного кабеля (где они сводятся на близкое расстояние) не непосредственно, а через реакторы, способные ограничить ток короткого до легко выключаемой величины.

Наиболее важной особенностью систем с уединением фаз является сравнительно высокое сопротивление в заземленной нейтрали. Вследствие тщательной изоляции фаз друг от друга междуфазовые короткие в данной конструкции почти невозможны; ток же заземления полностью потечет через нейтраль и не сможет превзойти величины, обусловливаемой сопротивлением.

Для защиты от возможных коротких замыканий принята система так называемых „аварийных шин" (рис. 2). Каждая отдельная группа предметов станционного оборудования имеет свою аварийную шину, к которой присоединяются баки масляников, основания изоляторов и прочие части, имеющие естественное сообщение с землей. Шина изолирована от земли, но присоединена к главной заземляющей шине через трансформатор тока, питающий обмотки реле. Все соединения выполнены так, что при перекрытии изоляции обязательно будет

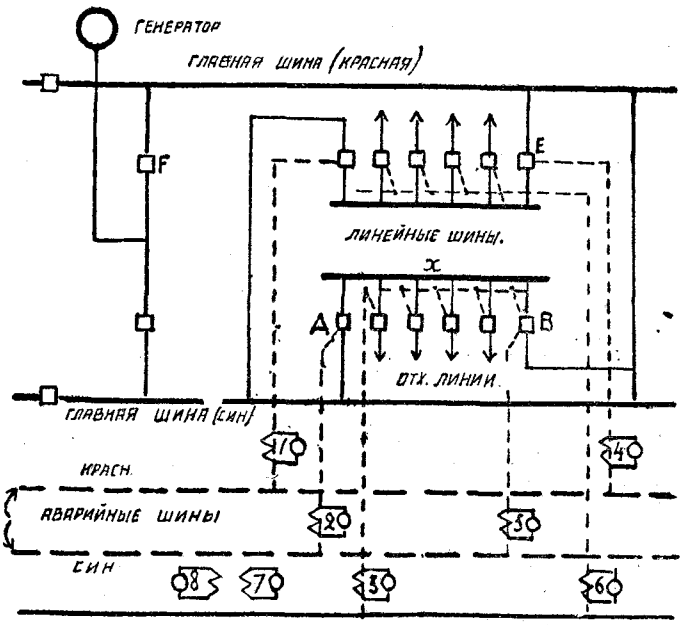


Рис. 2 Схема соединения аварийных шин: *1—8*—реле

иметь место ток через аварийную шину и связанный с нею трансформатор тока; последний возбудит реле и выключит группу, в которой произошла авария. На схеме рабочие соединения и шины изображены сплошными линиями соединение аварийных шин—пунктирами. Линейные (распределительные) шины могут питаться от любой из главных шин. Если перекрытие произошло на шине *x*, ток заземления приведет в действие реле *3*, которое выключит масляники *A* и *B* и четыре линейных, уединив, таким образом, дефективное оборудование. Для случая заземления между группами предусмотрены реле с выдержкой времени. Например, при перекрытии на маслянике *E* реле *4* сперва выключит линейные и групповые масляники; если короткое не выключено в течение 0,7 sec, реле *7* выключит всю секцию главных шин, к которой присоединен масляник *E*.

Для защиты генераторов применена обычная схема с дифференциальными реле. Дифференциальная защита трехобмоточных трансформаторов встретила затруднения, ввиду наличия в них приспособлений для регулирования напряжения и высокого сопротивления в нейтрали; защита осуществлена при помощи процентно-дифференциальных реле [1].

Для защиты 66-kV связующих линий применяется схема с контрольным проводом (pilot wire). Благодаря малой протяженности линий и надежной службе эта сравнительно дорогая система хорошо себя оправдывает.

Подобно подстанциям 66-kV сети, подстанции 12-kV сети секционированы на две или более частей. Секции в одних случаях перманентно соединены между собою через реакторы, в других—имеют глухое соединение и в случае аварии автоматически расцепляются. Защита линии 12-kV сети осуществлена посредством направленных реле и уравновешенных диференциальных реле.

О. Тихий

[1] См. журнал „Электричество", № 22, 1931 г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

IV. Электроматериалы

Сухие выпрямители

(По материалам концерна Siemens)

Среди разнообразных типов преобразователей переменного тока в постоянный без вращающихся частей за последнее время приобрели большое значение сухие выпрямители; из них чаще всего употребляется выпрямитель с закисью меди. Этот выпрямитель основан на свойстве униполярной прово-

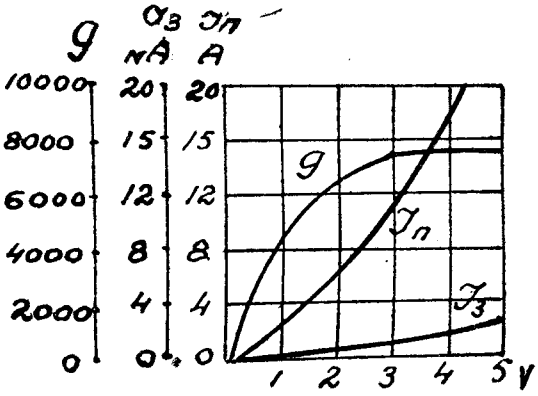


Рис. 1

димости контакта металлической меди с закисью меди. Сопротивление такого контакта при прохождении тока в направлении от меди к закиси меди (задерживающее направление) будет значительно больше, чем при прохождении тока в обратном направлении (проводящее направление). Обозначая эти сопротивления через R, а соответствующие силы

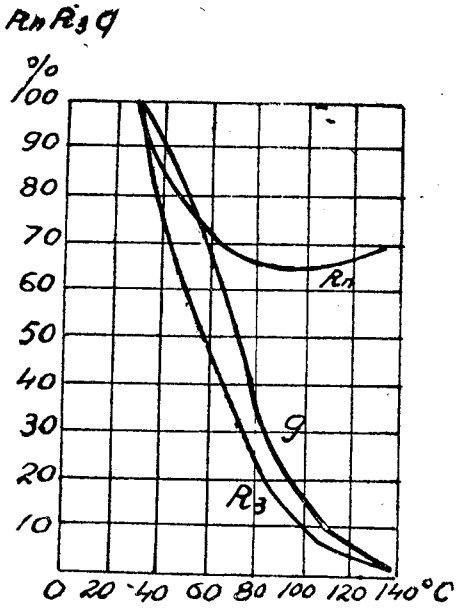


Рис. 2

тока через J со значками 3 задерживающего направления и П—для проводящего направления, мы можем вести характеризующую выпрямитель величину—его „добротность" (*gütezahe*):

$$P = \frac{R^3}{R^п} = \frac{J^п}{J^3}$$

Рис. 1 дает примерные кривые зависимости J_1 (в амперах) J_2 (в миллиметрах) G от приложенного к выпрямителю напряжения. Рис. 2 дает представление о влиянии температуры: здесь величины $R^п$, R^3 и G даны в процентах от значений для начальных условий. Рис. 3 иллюстрирует влияние на работу выпрямителя изменения нажатия друг на друга его электродов. Из рис. 2 и 3 видно, что действие сухого выпрямителя ухудшается с повышением температуры и улучшается с повышением давления между электродами.

Одним из наиболее простых типов выполнения сухого выпрямителя является форма, схематически изображенная на рис. 4. Здесь *а* обозначает медный диск, *б* — слой закиси меди, *в* — служащий вторым электродом свинцовый диск, *г* — металлические пластинки, служащие для улучшения отвода тепла, *д* — шайбы, стягивающие всю систему с помощью болота *е* с гайкой; через *ж* обозначена изоляция. Слой закиси меди наносится на медный электрод *а* посредством прокаливания этого электрода в особых условиях. Для выпрямителей более значительной мощности берется большой медный лист, у которого обе стороны покрываются слоем закиси.

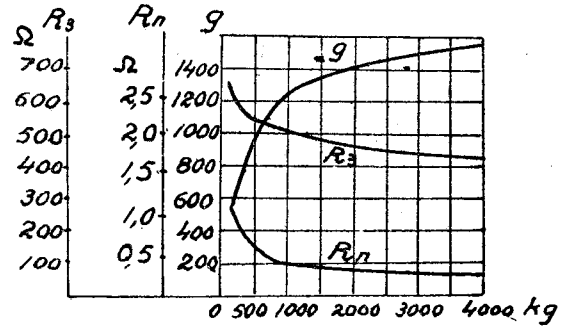


Рис. 3

Плотность тока составляет около 40 mA/cm². На элемент не следует давать напряжение больше 2—3 V, так как иначе ухудшается к. п. д. При необходимости выпрямлять более значительные напряжения такие выпрямители соединяют последовательно в нужном количестве.

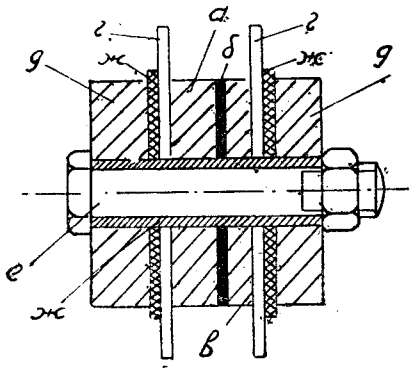


Рис. 4

Одна из главных областей применения сухих выпрямителей—радиотехника.

Б. Тареев

IV. Разное

Heinz Adler. **Планиметр для определения эффективных значений** „ETZ", № 45, 1931, стр. 1387.

В электротехнике часто приходится иметь дело с определением эффективного значения тех или иных периодических кривых. Для кривой

$$y = f(t)$$

эффективное значение равно, как известно,

$$\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T y^2\, dt},$$

где y—ордината кривой, t—время, T—период.

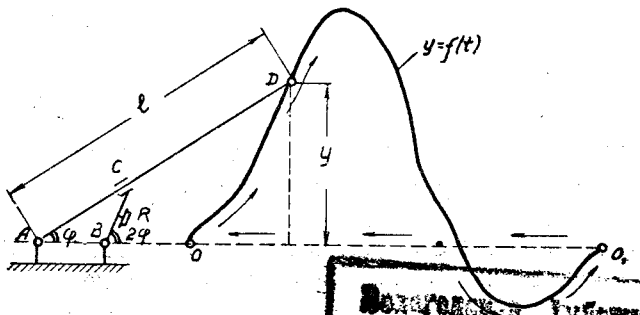


Рис. 1

Вологодская губернская Контрольная библиотека

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Определение интеграла

$$\int y^2\,dt$$

может производиться путем вычисления для ряда точек или графическим путем. Для быстрого и точного определения $\int y^2 dt$ может служить также специальный планиметр, предложенный автором и изготовляемый фирмой A. Ott под названием „Potenz Planimeter Adler Ott". Устройство прибора схематически изображено на рис. 1. С помощью каретки деталь AB передвигается по направлению оси времени кривой; A и B — шарниры, C — направляющие, по которым линейка BC может скользить по линейке AD; отрезок $AB = BC$; на конце линейки AD длиной $AD = l$ находится штифт D, которым кривая $y = f(t)$ обводится от O до O_1 и обратно по оси времен от O_1 до O, как это указано стрелками на рисунке. На линейке BC находится скользящий по бумаге планиметрический ролик с делениями R. Угол $CBO = 2\,\varphi$, где $\varphi = \angle CAB$. Если U—окружность ролика R, а s—отсчет по ролику (разность между движениями отсчетов до начала обвода штифта D и после полного обвода), то нетрудно показать, что искомый интеграл пропорционален величине s, а именно

$$\int_0^T y^2 dt = -\frac{l^2 U}{2} \cdot s.$$

Здесь l и U—величины, зависящие исключительно от размеров прибора. В самом деле, при передвижении прибора на dt в направлении оси OO_1 ролик повернется на ds, причем

$$U \cdot ds = \cos 2\,\varphi \cdot dt = (1 - 2 \cdot \sin^2 \varphi)\,dt.$$

Интегрирование дает

$$U \cdot s = \int dt - 2 \int \sin^2 \varphi \cdot dt.$$

При полном обводе величина

$$\int dt = 0,$$

так что

$$U \cdot s = -\frac{2}{l^2} \cdot \int y^2\,dt$$

(мы подставляем вместо $\sin \varphi$ его величину

$$\sin \varphi = \frac{y}{l}),$$

откуда

$$\int y^2 \cdot dt = -\frac{l^2 \cdot U}{2} \cdot s = \text{const} \cdot s.$$

Помимо применения для нахождения эффективных величин прибор, естественно, может быть употреблен и для определения статического момента и центра тяжести и об'ема тела вращения вокруг оси.

Изготовляется также модель для определения величины

$$\int \sqrt{y} \cdot dx,$$

что важно для работ со счетчиками Вентури и с трубками Пито.

Б. Тареев

21. A. Soulier. **Электрическое оборудование кино Гомон**. L'Industrie electrique, 1931, стр. 341.

Кинофирмой Гомон открыт в Париже крупнейший в мире кинотеатр „Gaumont Palace". Зрительный зал его имеет длину 60 m, ширину 35 m, высоту 25 m и вмещает 6 000 зрителей. В соответствии с громадными размерами кино значительна и потребляемая им электрическая мощность, составляющая 1 200 kW, кратковременными максимумами до 1 450 kW. Кино берет от городской высоковольтной сети двухфазный ток 12 000 V. Установлены 6 однофазных трансформаторов 12 000/220 V по 200 kW, образующих 3 двухфазные группы. Дополнительная группа двух трансформаторов по 60 kW обслуживает одноякорный преобразователь 120 kW, дающий постоянный ток 110 V. Имеются аккумуляторные батареи 110 V, 1 000 Ah для аварийного освещения, две батареи 50 V 100 Ah для автоматической телефонной станции и 2 батареи 25 V, 50 Ah для пожарной сигнализации. Три распределительные доски по 8 m длиной образуют полукруг, в центре которого находится одноякорный преобразователь. От подстанции ток подается к отдельным распределительным щиткам бронированными кабелями. Освещение зала напряжением 55 V из соображений большей безопасности. Освещенность вестибюля 150 люкс, коридоров — 80, у входов в зал — 40 и в самом зале перед началом демонстрации фильма — 20 люкс. Таким образом посетитель проходит последовательно помещения со все уменьшающейся освещенностью, что подготовляет его к полутьме во время сеанса. Освещение зрительного зала берет мощность 200 kW.

Помещение проекционных аппаратов имеет площадь пола 26 x 4 m; в нем установлены 4 аппарата для демонстрации звуковых фильм, прожектора, 5 усилителей по 200 W с анодным напряжением 3 000 V. Каждый усилитель работает на 4 громкоговорителя и может применяться для передачи звука при демонстрации звуковых фильм или же для усиления оркестра. Каждый проекционный аппарат может работать с каждым из усилителей и любым из громкоговорителей; Экран из прорезиненного полотна имеет размер 12 × 16 m нормально часть его прикрыта занавесом, так что остается свободная площадь 10 × 8 m. В помещении оркестра установлены 4 микрофона с соответствующими приспособлениями. Для передачи об'явлений и т. п. имеется ната с микрофоном и 16 громкоговорителей в проходах.

Б. Тареев

22. **Химическая и электрохимическая обработка поверхности алюминия** „Aluminium", № 15, 1931, стр. 1

Химическими способами получения электроизолирующей и антикоррозийной оксидной пленки на алюминии могут явиться обработка алюминия бакелитом, фенол которого создает в результате химической реакции устойчивую оксидную пленку на поверхности алюминия, сохраняющуюся и после растворения бакелита, или же обработкой в растворах различных солей и щелочей. Применяется, например, обработка в теплом растворе 2—6%-ного едкого натра, 1,5—2%-ного аммиака и 2,5—12%-ного силиката натрия. Силикат натрия действует как ускоритель реакции; его количество оказывает серьезное влияние на ход процесса. Также может быть применен раствор, содержащий по 1,5% хромата калия, едкого натра и сульфата алюминия при температуре 90—95° C.

Электролитическая анодная оксидация дает, вообще говоря, более прочные и равномерные пленки.

Б. Тареев

ОНТИ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Техред *Е. Чебышева*

РЕДКОЛЛЕГИЯ: Е. С. Аватков, В. И. Вейц, М. И. Грановская, Я. А. Климовицкий, И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, А. И. Сазонов, М. А. Шателен, Я. И. Шпильрейн
ОТВ. РЕДАКТОР Я. А. Климовицкий

Сдано в набор 10/I. Подписано к печати 20/II. Бумага 62×94. Об'ем 8½ лист. Колич. тип. знак. 78 800 в листе.

Уполн. Главлита № Б 17240 9-я тип. Мособлполиграфа, Москва, Ильинка, Юшков, 10. 360. Тираж 11.000

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Sachgemässe Beratung in allen Fragen

der

ausländischen Reklame in der Sowjetunion

bietet unverbindlich:

Generalvertretung des Staatl. Anzeigenbüros „Inreklama", Moskau, in: Deutschland, Österreich, Tschecho-Slowakei, Holland, Schweden, Norwegen und Dänemark:

Industrie- und Handelsreklame „TORGPROM" G.M.B.H.

Berlin W 35, Kurfürstenstr. 33

Tel. B 2 Lützow 8603

Просьба к читателям

желающим выписать каталоги или пр. информационный матерал иностран. фирм, заполнить помещенный внизу текст, вырезать его, вложить в конверт снабженный 15 коп. маркой и отправить фирме по адресу, указанному в об'явлении или статье журнала.

Фирме: .....

.....

В .....

Ссылаясь на В/ об'явление в технических журналах Союза ССР, прошу (сим) выслать мне (нам) по нижеследующему адресу каталог или информационный материал об изделиях В/ производства и особенно в отношении

.....

.....

.....

.....

Фамилия или учреждение: .....
(Разборчиво)

Специальность: .....

Адрес: .....

.....

КРИТИЧЕСКИЕ ПОКУПАТЕЛИ

требуют только наши

Рулоны для регистрации ПЕРФЕКТ

Требуйте бесплатные предложения.

Специальность!

1. Бумага с миллиметровым делением.
2. Бумага с логарифмическим делением.
3. Бумага, разлиненная по треугольной и полярной системе координат.

При запросах просим присылать образец печатного текста и указывать требуемое количество экземпляров, длину рулонов, а также диаметр внутреннего отверстия.

Carl Schleicher & Schüll

Düren, Rheinland

28122

Сплавы и металлы, плавленые при вакууме

Хромоникелевая проволока для нагревательных элементов для отапливаемых электричеством калильных печей для промышленности и предметов домашнего хозяйства, с содержанием хрома от 11 до 33%.

Тянутые без швов трубы из хромоникеля, плавленого в вакууме, как-то: защитные трубы для пирометров и для химической промышленности.

Сплавы высшей теплостойкости для машинных частей, которые должны выдерживать длительные рабочие температуры до 1000°.

Антикатоды из меди, подвергнутой плавке в вакууме, для рентгеновских трубок. Свободная от газа чистая никелевая проволока и лента для ламп накаливания, усилительных и передаточных трубок. Свободная от газа токоподводящая проволока для ламп накаливания из сплава железо-никеля.

Термоэлементы из плавленых при вакууме неблагородных металлов с постоянной кривой градуировкой, измерение температур от 800 до 1100°.

Гереус-Вакуумшмельце

А. О.

Ганау И. М. (Германия)

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ВО ВСЕМ МИРЕ

специалистами признано, что

РЕЛЭ БУХГОЛЬЦА

являются надежнейшим устройством для защиты

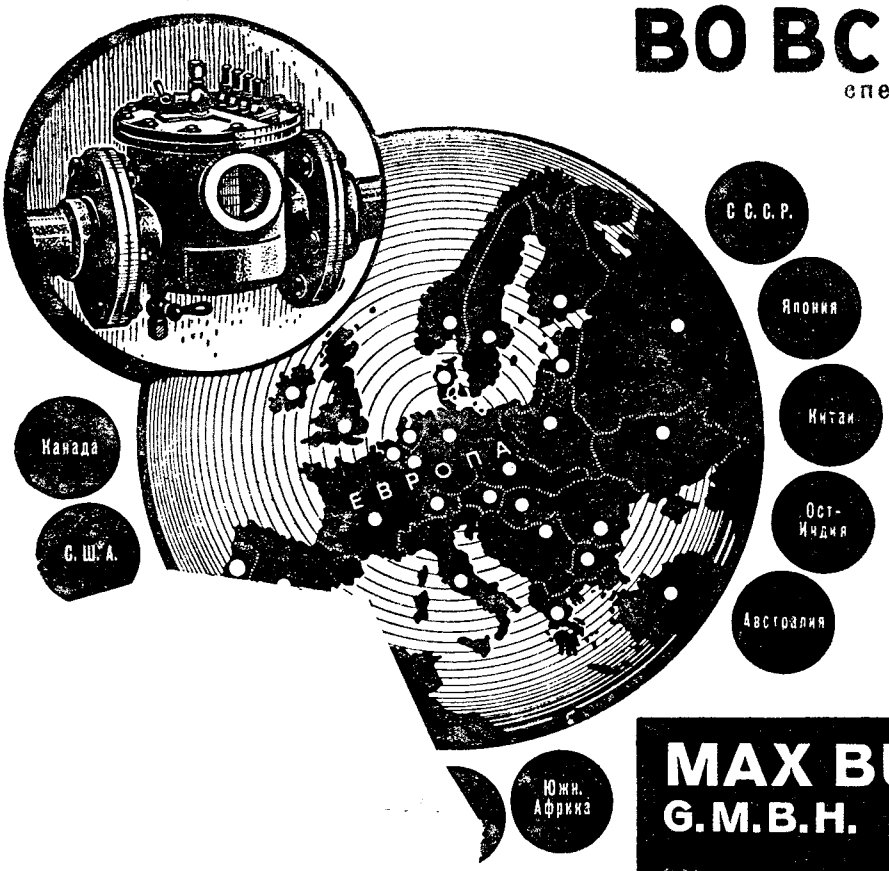
ТРАНСФОРМАТОРОВ.

В настоящее время свыше

11000 шт.

таких устройств защищают трансформаторы общей мощностью

ок. 45 миллионов kVA



На основании нашего общего договора, все запросы и заказы для С.С.С.Р. следует направлять через

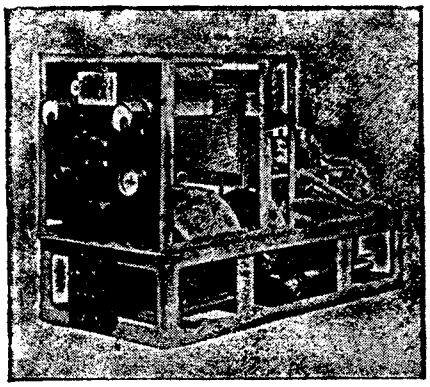
Отдел Силовых Установок и Электротехники Торгового Представительства С.С.С.Р. в Германии (Берлин) или ОБ'ЕДИНЕНИЮ ЭЛЕКТРОИМПОРТ МОСКВА.

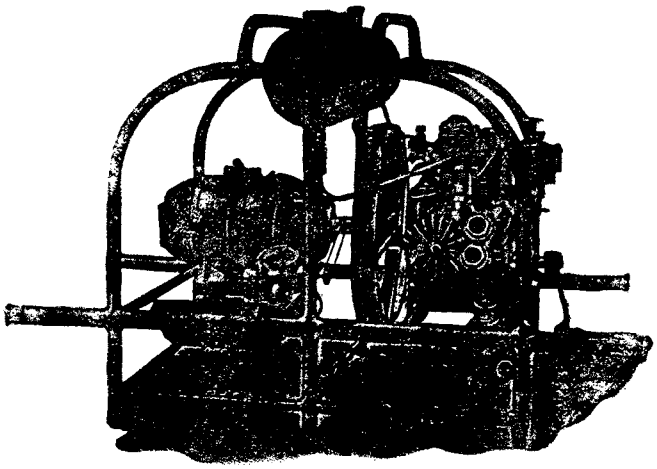
MAX BUCHHOLZ
G.M.B.H. KASSEL (ГЕРМАНИЯ)
AMALIENSTRASSE 1

HANS BERGMANN

APPARATEBAU

BERLIN - CHARLOTTENBURG, GOSLARER PLATZ 8-9





Электрические силовые станции любого рода

Телеграфный адрес: Homentanus

6697

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.
При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru